

**Univerzita Karlova v Praze**  
**Přírodovědecká fakulta**

Katedra fyzické geografie a geoekologie



**Mgr. Magdalena Králová**

Hydromorfologické hodnocení vodních toků na základě distančních podkladů  
Hydromorphological assessment of rivers using distance data sources

Disertační práce

Školitel: RNDr. Milada Matoušková, Ph.D.

Praha, 2013

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

Ve Vraném nad Vltavou, dne 31.5.2013

Podpis

## Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat mé školitelce RNDr. Miladě Matouškové, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady a podněty při zpracování mé disertační práce. Dále bych chtěla poděkovat Mgr. Soně Hnilicové a Mgr. Martinovi Královi za pomoc při terénních pracích. Mé poděkování patří i přátelům za inspiraci a především rodině za pomoc, trpělivost a shovívavost při dokončování rukopisu práce.

Předložená práce vznikla za finanční podpory grantového projektu GA UK č. 13309 „Využití distančních podkladů při hodnocení hydromorfologického stavu vodních toků“ a s využitím dat pořízených v rámci grantového projektu GAČR č. 205/05/P102 „Hodnocení ekohydrologického stavu vodních toků v kontextu Rámcové směrnice ochrany vod EU“.

## ABSTRAKT

Disertační práce je zaměřena na problematiku hydromorfologického hodnocení vodních toků s využitím distančních podkladů. V textu je formulovaná metoda distančního hodnocení vodních toků QuaWaDis a jsou vyhodnoceny možnosti využití výsledků zpracování obrazových podkladů v hydromorfologickém hodnocení. Cílem distančního hodnocení je klasifikace hydromorfologického stavu vodních útvarů v souladu s požadavky Rámcové směrnice o vodní politice 2000/60/EC.

Distanční hodnocení je založeno na vizuální interpretaci volně přístupných datových podkladů. V případě možnosti využití leteckých nebo satelitních snímků jsou do hodnocení začleněny parametry, které využívají výsledků zpracování obrazu. Na mozaice leteckých snímků byly testovány nástroje objektové klasifikace. Satelitní snímky byly zpracovány pomocí nástrojů neřízené klasifikace a reklasifikace obrazu. Správnost kalibrace distanční metody QuaWaDis a výpovědní hodnota distančních podkladů je testována na základě porovnání výsledků s výsledky terénního mapování metodou EcoRivHab (Matoušková, 2008).

Zpracování leteckých snímků objektovou klasifikací bylo zaměřeno na sledování přesnosti výsledků, byl definován index efektivity hodnocení a hodnocena přesnost pomocí konceptu fuzzy logiky. Z posouzení efektivity klasifikace vyplývá, že v případě malého území je efektivnější klasifikovat velké heterogenní plochy manuální vektorizací. Hodnocení přesnosti s využitím principu fuzzy logiky umožňuje sledovat úspěšnost funkce rozpoznávání objektů v rámci jednotlivých kategorií. S využitím neřízené klasifikace satelitních snímků v masce koryta toku byla testována možnost sledování variability hloubek. Výsledky neřízené klasifikace pak byly porovnány s bodovým měřením hloubek v terénu. Na základě porovnání bylo možné vymezit intervaly hloubek, které odpovídaly klasifikačním třídám a bylo tak prokázáno, že variabilitu hloubek je možné sledovat na podkladu neřízené klasifikace.

Detailní hydromorfologický průzkum pomocí metody QuaWaDis byl aplikován v modelových územích Rolavy, horního toku Vltavy a jihočeské Blanice. Výstupy metody QuaWaDis byly ověřeny terénním průzkumem. Distanční podklady poskytly v případě většiny zkoumaných parametrů srovnatelné výsledky jako terénní mapování, což potvrdilo možnost využití distančních podkladů pro hydromorfologický průzkum středně velkých a velkých vodních toků ve vodohospodářské praxi.

## ABSTRACT

The thesis is aimed on hydromorphological assessment with usage of distance data. The distance method QuaWaDis is defined and the usage of results of image processing within the hydromorphological assessment is considered. The aim of the assessment is classification of hydromorphological conditions of water bodies according to Water Framework Directive 2000/60/EC.

Distance method is based on visual interpretation of public data. Image processing results can extend the number of parameters of the distance method – object based classification was applied on aerial imagery (in land cover classification), unsupervised classification and image reclassification was applied on multispectral satellite data (in water depths classification). The calibration of distance method and the credibility of the distance data was evaluated in comparison with results of field survey EcoRivHab (Matoušková, 2008).

Object based image processing was aimed on accuracy assessment, index of efficiency was defined and the concept of fuzzy logic was applied in accuracy assessment. From consideration of classification efficiency is obvious, that large internally heterogeneous objects is more effectively to vectorise manually. Accuracy assessment with usage of concept of fuzzy logic shows the success of object recognition within each classification category. Results of unsupervised classification in the mask of „water“ was compared to field survey depth measurements to determine the interval of depths for each classification category.

Distance method of hydromorphological assessment QuaWaDis was applied in study areas of Rolava river, Blanice river and upper Vltava river. The results of the distance method were verified in the field. The distance data provides in the most of assessed parameters comparable results with field survey. This confirms the premise, that distance data are usable in water management.

## Obsah

1	Úvod .....	4
2	Cíl .....	4
3	Postavení ekohydrologie a hydromorfologie v systému věd .....	5
4	Současný stav poznání v oblasti ekohydrologického hodnocení vodních toků .....	7
4.1	Metody hodnocení ekohydrologického stavů vodních toků v ČR .....	9
4.2	Ověření vypovídací schopnosti .....	10
5	Využití distančních podkladů v hodnocení habitatu vodních objektů .....	12
5.1	LAWA-OVS (Overview Survey) .....	14
5.2	Hydromorfologický průzkum a hodnocení vodních toků .....	16
5.3	Mapování hydromorfologických struktur pomocí nástrojů zpracování obrazu .....	16
5.4	Mapování habitatu, hloubek a dřevních akumulací na podkladu hyperspektrálních dat .....	18
5.5	Příklady studií zaměřených na jednotlivá hydromorfologická témata .....	19
5.5.1	Modelové území řek Tummel a Tay, Skotsko .....	19
5.5.2	Kvantifikace říčního habitatu pomocí multispektrálních snímků .....	20
5.5.3	Mapování ponořených struktur v korytě toku .....	21
5.5.4	Automatické mapování objektů v korytě toku .....	21
5.5.5	Klasifikace koryta toku na podkladu barevných leteckých snímků .....	22
5.5.6	Hodnocení povodí pomocí indexů na příkladu toku Nanticoke .....	22
6	Charakter dat a analýza obrazu .....	23
6.1	Družicové snímky .....	23
6.2	Klasifikace družicových snímků „per pixel“ .....	25
6.3	Letecké snímky .....	26
6.4	Faktory ovlivňující zpracování leteckých snímků .....	27
7	Potřebná data, jejich aktuálnost a postup hodnocení .....	29
8	Metoda distančního hodnocení QuaWaDis .....	32
8.1	Referenční stav .....	33
8.2	Vymezení hodnocených zón .....	33
8.3	Průběh hodnocení .....	35
8.4	Základní část hodnocení .....	36
8.4.1	Upravenost toků .....	36
8.4.2	Změna charakteru průběhu toku krajinou .....	37

8.4.3	Zahloubení koryta vodního toku .....	40
8.4.4	Úpravy podélného profilu.....	42
8.4.5	Projevy eroze a přítomnost přirozených v korytě toku.....	42
8.4.6	Variabilita šířek toku .....	47
8.4.7	Charakter břehové vegetace .....	49
8.4.8	Přítomnost doprovodných vegetačních pásů podél toků .....	50
8.4.9	Charakter doprovodných vegetačních pásů a využití záplavové zóny .....	51
8.4.10	Překážky proudění v záplavové zóně .....	53
8.4.11	Retence vody v záplavovém území .....	54
8.4.12	Odvodnění území.....	55
8.4.13	Ovlivnění odtoku .....	55
8.5	Fotointerpretace.....	56
8.6	Rozšířené možnosti hodnocení.....	58
8.6.1	Variabilita hloubek .....	58
9	Modelové území Rolavy.....	61
9.1	Charakteristika území.....	61
9.2	Použitá data .....	64
9.3	Průběh a výsledky distančního hodnocení .....	64
9.4	Postup porovnání výsledků a příprava dat.....	66
9.5	Přímé porovnání výsledků distančního a terénního hodnocení .....	67
9.6	Kalibrace distanční metody .....	68
9.7	Přesnost distanční metody .....	70
9.8	Porovnání výsledků terénního a distančního mapování pomocí nástrojů shlukové analýzy. 72	
10	Modelové území Kalinova Ves .....	76
10.1	Charakter dat .....	76
10.2	Objektová klasifikace pomocí extenze Feature Analyst.....	77
10.3	Metody výpočtu přesnosti klasifikace .....	80
10.4	Postup zpracování obrazových dat v modelovém území.....	80
10.5	Výpočet přesnosti objektové klasifikace v modelovém území.....	83
10.6	Výpočet efektivity objektové klasifikace v modelovém území.....	85
10.7	Stanovení přesnosti pomocí principu fuzzy logiky .....	87
11	Modelové území Vltavy .....	88
11.1	Charakteristika území.....	89

11.2	Použitá data .....	90
11.3	Morfologie struktur v korytě toku .....	92
11.3.1	Příprava dat.....	92
11.3.2	Zpracování obrazových dat .....	93
11.3.3	Verifikace zpracování obrazových dat .....	94
11.3.4	Vývoj průběhu toku krajinou.....	99
12	Modelové území Blanice.....	104
12.1	Charakteristika toku Blanice .....	104
12.2	Použitá data .....	105
12.3	Průběh hodnocení.....	107
12.4	Výsledky terénního mapování dolního toku.....	107
12.5	Výsledky porovnání distančního a terénního hodnocení na dolním toku Blanice .....	110
12.6	Hodnocení horního toku Blanice.....	112
12.6.1	Hodnocení variability hloubek .....	113
12.6.2	Vývoj akumulčních tvarů .....	115
12.6.3	Hodnocení využití DVP a záplavové zóny.....	120
12.6.4	Výsledné hodnocení .....	121
13	Shrnutí výsledků.....	124
13.1	Definice distanční metody .....	124
13.2	Princip bodování parametrů .....	125
13.3	Modelové území Rolavy.....	125
13.4	Modelové území Kalinova Ves .....	128
13.5	Modelové povodí Vltavy .....	129
13.6	Modelové povodí Blanice.....	129
14	Diskuze.....	131
15	Závěr.....	134
16	Literatura .....	136
17	Seznam tabulek.....	145
18	Seznam obrázků .....	146
19	Přílohy .....	149



## ÚVOD, CÍLE A ZAŘAZENÍ V SYSTÉMU VĚD

---

### 1 Úvod

Vodní útvary jsou již tradičně hodnoceny na podkladu sledování fyzikálně-chemických parametrů. S poklesem zatížení vodních toků se zájem hodnotících metodik přesouvá také ke sledování jejich hydromorfologické degradace. Tento trend má svůj původ v celkovém posunu ekologických aktivit od řešení jednotlivých úzce zaměřených témat ke komplexnímu pohledu na krajinu a jednotlivé prvky v ní.

Podle Lehotského (2004) je hydromorfologie základní složkou toků a řek, na které jsou závislé společenstva živočichů a rostlin. Vodní toky jsou typické dynamickým prostředím, které se díky změnám proudění neustále přetváří. Struktury v toku a proměnlivost proudění jsou tedy základní součástí vodního ekosystému.

Na území České republiky byla v minulosti v rámci hydrotechnických úprav v krajině ekologická hodnota a funkčnost vodních ekosystémů snížena. Tyto změny jsou sledovány právě pomocí ekohydrologického průzkumu.

Ekohydrologické hodnocení vodních toků a definice metodik byla v Evropě podpořena především požadavky Rámcové směrnice o vodách (EC, 2000), která ukládá všem členským státům EU dosažení dobrého stavu povrchových vod z hlediska biologických, chemických a hydromorfologických parametrů. Významným impulzem, kdy se zájem o vodní toky velkou měrou přesunul do hydromorfologické roviny, byly povodně v letech 1997 a 2002.

Stávající metody hydromorfologického hodnocení jsou založeny převážně na terénním mapování s částečným využitím distančních podkladů. Terénní mapování poskytuje detailní a aktuální informace o hodnoceném toku, zároveň je však časově náročné a často komplikované nepřístupností některých hodnocených úseků. S rostoucím spektrem tematických vodohospodářských datových podkladů, prostorovým a časovým rozlišením obrazových dat dálkového průzkumu Země a možnostmi jejich digitálního zpracování se zde otevřel prostor, který umožňuje distanční hodnocení vodních toků. Distanční hodnocení využívá obrazová a vektorová data, především letecké a satelitní snímky a tematické kartografické podklady.

### 2 Cíl

Cílem předkládané práce je zhodnocení možností využití distančních podkladů a nástrojů automatického zpracování obrazu v hydromorfologickém hodnocení vodních toků. V rámci celé práce je možné vymezit několik dílčích cílů, které byly sledovány:

1. definice metody distančního hodnocení vodních toků na podkladu volně přístupných datových a obrazových podkladů a její ověření v modelovém území na základě srovnání výsledků s výsledky terénního hydromorfologického hodnocení.
2. ověření distanční metody z hlediska hydromorfologického hodnocení vodních toků v souladu s Rámcovou směrnicí o vodách (EC, 2000)
3. testování nástrojů automatického zpracování obrazu leteckých a satelitních snímků z hlediska využitelnosti výsledků zpracování v rámci hydromorfologického hodnocení. Důraz byl kladen především na jednoduchost a časovou nenáročnost zpracování.
4. začlenění výsledků zpracování obrazových dat do hydromorfologického hodnocení a aplikace postupů v modelovém povodí.

### 3 Postavení ekohydrologie a hydromorfologie v systému věd

Pojem ekohydrologie a pohled jejím zorným úhlem na vodní toky v krajině pozvolna nabýval v rámci environmentálních věd na důležitosti, až se počátkem nového tisíciletí etabloval na samostatný vědní obor na pomezí ekologie a hydrologie. Podle Zalewskeho sahají první pokusy o propojení ekologie a hydrologie do roku 1970. V následujících dekádách však byl tento koncept zaměřen především na sledování bezobratlých, ryb a sedimentů, biomonitoring vodních toků a kyslíkových pochodů v povodí. V rámci programu UNESCO (Mezinárodní biologický program) byly kvantifikovány ekologické procesy ve smyslu toků energie v ekosystému (Zalewski, 2002).

Jedním z výstupů programu UNESCO byla i formulace obecné definice ekohydrologie jako *oboru, který studuje funkčnost vztahů mezi hydrologií a biotou v měřítku povodí* (Zalewski, 2000). Toto pojetí ekohydrologie je možné chápat jako třetí fázi ve vývoji ekologie – od popisné vědy, přes porozumění přírodních procesů až po kontrolu a ovlivňování ekologických procesů s cílem zlepšit jejich kvalitu (Zalewski, 2002).

Vymezením ekohydrologie v rámci věd se ve svých člancích vedených diskurzním způsobem a otevřených komentářům zabývali především Zalewski (2000), Nettle (2002) a Hannah a Wood (2004). Autoři se ve svých textech zaměřují nejdříve na vývoj pojetí ekohydrologie, její pozici mezi ekologií a hydrologií, hlavní objekt studia ekohydrologie jako vědy a význam pro současné přístupy k managementu povodí, udržitelnému rozvoji a protipovodňové ochraně.

Z českých autorů se vývoji ekohydrologie, jejímu umístění v systému věd a definici jako vědního oboru věnovali ve své disertační práci Matoušková (2003) a Kopp (2004), v diplomové a bakalářské práci pak Smetana (2006, 2008).

Podle Miklánka (1998) se ekohydrologie považuje za hydrologickou disciplínu, která se zabývá studiem vlivu různých ekosystémů a organismů na hydrologické procesy a objekty, resp. Studiem hydrologických procesů a objektů v různých ekosystémech (in Kopp, 2004).

Ekohydrologie může být definována jako integrující věda zaměřená na vliv hydrologických procesů na biotické procesy (a naopak) v ekosystémech vodního toku a příbřežní zóně (Zalewski, 2002). Ekohydrologické nástroje hodnocení v podstatě vychází z již definovaných nástrojů hydrologických, krajinně-ekologických a hydromorfologických.

V rámci ekohydrologického hodnocení vodních toků zaujímá hydromorfologie výsostné postavení. Pojem hydromorfologie v podstatě vychází z fluvialní geomorfologie, přičemž zde došlo k mírnému posunu předmětu studia od jednotlivých tvarů v korytě toku a údolní nivě ke komplexnímu pohledu na morfologii vodního toku v krajině. Středem zájmu je pak míra přírodnosti procesů v povodí a tvarů jimi vzniklých, jejich antropogenní ovlivnění a schopnost návratu do přírodního, nebo přírodě blízkého stavu. Nedílnou součástí hydromorfologického hodnocení je tedy definice referenčních stavů pro jednotlivé typy vodních objektů.

Hydromorfologie toků a stanovení jejich ekologického stavu se prolínají právě v definování referenční podmínky, vývoji typologie vodních útvarů, vymezení silně ovlivněných útvarů, utváření odběrové strategie biologických složek a při vývoji hodnotících systémů pro morfologickou degradaci toků i jiné antropogenní stresory (Brabec, 2004). Současné definice přirozeného stavu a referenčních podmínek vycházejí z konceptu „poškození“, hlavně v případě morfologie koryta toku. V podstatě je však potřebnější definice s pozitivním obsahem (oproti dnešním negativním). Na pozitivním obsahu definice referenčních podmínek a přirozeného stavu je založena např. koncepce „navrženo přírodou“ (Newson a Large, 2006).

#### 4 Současný stav poznání v oblasti ekohydrologického hodnocení vodních toků

V posledních dvou desetiletích vznikla na poli hydrologie řada metodik hodnotících kvalitu habitatu či ekomorfologické podmínky vodních toků. Vývoj hydromorfologických metodik byl v Evropě podpořen především požadavky Rámcové směrnice o vodách (EC, 2000), která ukládá všem členským státům EU do roku 2015 dosažení dobrého stavu povrchových vod z hlediska biologických, chemických a hydromorfologických parametrů.

V současné době mají v podstatě všechny členské státy EU vlastní metodiku hodnocení. Birk (2003) ve své diplomové práci porovnává jednotlivé hodnotící metody. Celkem na území států EU identifikoval 88 metod hodnocení vodního prostředí, z čehož 20 se zabývalo hydromorfologií. Jako nejčastěji uváděné a srovnávané evropské metody hodnocení je možné označit německou metodu LAWA (LAWA, 1998), britskou River Habitat Survey (Raven, 1997), francouzskou SEQ-Physique (Agences de l'Eau & Ministère de l'Environnement, 1998) a rakouskou Ökomorphologische Gewässerbewertung (Muhar a kol, 1998). Muhar se zároveň zabývala i metodou vymezení úseků toku v dobrém, nebo velmi dobrém stavu (Muhar, 2000).

V rámci projektu AQEM tyto metody charakterizovala Balestrini (Balestrini a kol, 2004) a na základě porovnání aplikace na vybraných úsecích italských řek určila metodu RHS jako nejvhodnější k hodnocení vodních toků v Itálii. Metoda byla v některých parametrech přizpůsobena středomořským podmínkám, tato varianta byla pojmenována RHS-SE (River Habitat Survey – South Europe). Srovnáním tří metod RHS, LAWA a SEQ-Physique se také zabýval i autor britské RHS Raven (Raven a kol, 2002). Uvedené metody dohromady s dánskou, slovenskou a evropskou jednotnou metodikou CEN srovnával v rámci implementace RSV na Slovensku Lehotský (Lehotský, 2006).

Hydromorfologickému hodnocení vodních toků byly věnovány i dva evropské projekty – AQEM a STAR. Projekt AQEM se zabýval hodnocení ekologické kvality vodních toků v Evropě, jako hodnotící prvek používal charakter fauny bentických bezobratlých. V rámci projektu byla sledována závislost variability hydromorfologických podmínek vodních toků na faunu bezobratlých a byl navržen hodnotící systém (AQEM, 2002). Projekt STAR byl zaměřen na rešerši stávajících metod hodnocení (mimo jiné čerpal i z výsledků projektu AQEM) a výběr těch nejvhodnějších s ohledem na místní podmínky. To mělo za cíl nastavení standardů a hranic jednotlivých ekologických tříd tak, jak je definuje Rámcová směrnice o vodách (STAR, 2005). V podstatě šlo o vytvoření typologie vodních útvarů, nastavení referenčních podmínek a výběr hodnotících metod. Na obou projektech participovala brněnská Masarykova Univerzita, katedra zoologie a ekologie a pražský Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.M.

Napříč celou Evropskou Unií jsou řešeny twinningové projekty, které si kladou za cíl sladění přístupů a metodik v rámci implementace RSV. Pro možnost vzájemného srovnání výstupů jednotlivých národních monitorovacích metodik vytvořil Evropským výbor pro normalizaci (Comité Européen de Normalisation - CEN) jednotnou metodiku hodnocení ekomorfologických a hydromorfologických charakteristik vodních toků, která vyšla v roce 2003 v závazné normě EN 14614 „Water quality: Guidance standard for assessing the hydromorphological features of rivers“. V ČR vstoupila v platnost v roce 2005 jako CSN EN 14614 Jakost vod: Návod pro hodnocení hydromorfologických charakteristik řek (Smetana, 2008).

Metody hydromorfologického hodnocení nejsou omezeny pouze na evropský prostor. Mezi první autory, kteří se zabývali ekohydrologickým hodnocením vodních toků patří Rosgen a jeho „Klasifikace přírodních toků“ (Rosgen, 1994) a „Applied River Morphology“ (Rosgen, 1996). Mezi často zmiňované metody patří dále americká RBP – Rapid Bioassessment Protocols (Barbour a kol, 2006) a australská AusRivAs (Parsons a kol, 2002). Metoda RBP je vyjímečná tím, že jako mapovatele stavu toků uvažuje místní obyvatele, kteří se zajímají o přírodu a své okolí. Přístupu ne-expertů jsou pak přizpůsobeny i mapovací formuláře.

McGinnity zpracoval přehled 28 různých metod hodnocení kvality habitatu McGinnity (2005), které jsou používány zejména v Evropě a USA a poté v Africe, Austrálii a na Novém Zélandu (Weiss a kol., 2007 in Dvořák, 2008). Přehlednou rešerši a srovnání světových, evropských i českých metodik hodnocení se zdůrazněním jejich výjimečností podal ve své bakalářské a následně diplomové práci Smetana (2006, 2008).

Ekohydrologické a hydromorfologické hodnocení vodních toků se stalo velice aktuálním tématem, což dokumentuje vznik řady metodik, které hodnotí vodní toky v širokém spektru možných náhledů na tok a celou říční krajinu. Hodnoceno je přirozené formování koryta toků, jeho vliv na vodní faunu od bezobratlých až po rybí populace, charakter břehových porostů, či mapování doprovodné vegetace a její vliv na formování vodního toku a jeho ekologickou stabilitu. Dokladem četnosti metodik mohou být jak zmiňované práce, které jednotlivé metodiky porovnávají, tak např. i zřízení webových stránek se seznamem, abstraktem a citačním odkazem desítek metodik (<http://assessmentmethods.nbii.gov>). Metodiky je zde možné interaktivně automaticky porovnávat, či vyhledávat vhodnou metodiku podle nastavení filtru. Webové stránky jsou společným projektem George Mason University ve Washingtonu, americké geologické služby a dalších amerických institucí a organizací, publikuje tedy především americké metodiky.

Z důvodů velkého množství zahraničních metodik a jejich častého srovnávání v různých odborných textech a článcích nebude v této práci jejich detailnějšímu popisu věnován další prostor. Stručně popsány zde budou pouze české metodiky hodnocení a metody hodnocení, které jsou založené na zpracování distančních podkladů. Na jednotlivé výše zmíněné metody jsou odkazy v seznamu literatury, stejně tak i na texty, které se jejich popisem a vzájemným srovnáním zabývají.

#### 4.1 *Metody hodnocení ekohydrologického stavu vodních toků v ČR*

S potřebou ekohydrologického hodnocení vodních toků, posílené požadavky Rámcové směrnice o vodách, vznikla řada metodik hodnocení stavu vodních toků přizpůsobených přírodním podmínkám a typům toků na území České republiky. Všechny dále zmiňované metody jsou shodně založeny na výsledcích terénního průzkumu, doplnkově jsou využívány podkladové mapy.

Ekohydrologické hodnocení je založeno na porovnání současného stavu vodního toku s tzv. potenciálním přírodním stavem. Ten představuje stav toku, který by se formoval při daném fyzicko-geografickém a socioekonomickém vývoji zájmového území bez výrazných negativních antropogenních zásahů. Během hodnocení jsou toky děleny do úseků (délkově, nebo charakterově homogenních) a v každém úseku je „bodován“ (1-přírodní, přírodě blízký, 5-silně antropogenně ovlivněný) určitý počet parametrů dělený do několika zón. Výsledný ekohydrologický stupeň je pak určen jako aritmetický průměr všech sledovaných parametrů pro každou zónu zvlášť i souhrnně za všechny zóny (Matoušková, 2003).

Metody ekohydrologického hodnocení vodních toků mají v podstatě velmi podobný základ a liší se jen v charakteru některých parametrů (podle typů toků, či účelu pro který byly navrženy), nebo způsobu zpracování. V následujícím textu budou podány jen základní charakteristiky některých metod, případně faktory, ve kterých se výrazněji liší od ostatních, nebo jsou výjimečné. Podrobnějšímu popisu jednotlivých metod se ve své diplomové práci věnoval Smetana (2008) a Matoušková (2003, 2004), případně jsou na jednotlivé metody odkazy na závěr v seznamu literatury.

Vývojem metodiky ekohydrologického hodnocení se ve své dizertaci a následně v rámci řešení grantového projektu GA ČR č. 205/05/P102 „Hodnocení ekohydrologického stavu vodních toků v kontextu Rámcové směrnice ochrany vod EU“ zabývala Matoušková (Matoušková, 2003, 2004 a 2008a a 2008b). Její metoda EcoRivHab se věnuje především fluviálně-morfologickým charakteristikám vodních toků, jejich antropogenní transformaci, dynamice proudění, stavu břehové vegetace a využití ploch podél vodních toků. Hodnocení probíhá ve čtyřech zónách, přičemž hodnocení zóny koryta vodního toku a zóny doprovodných vegetačních pásů je založeno převážně na terénním průzkumu, hodnocení zóny údolní nivy a zóny celého povodí více využívá informací od správců toku a dostupných distančních podkladů.

Metoda Šindlara (2008) oproti tomu sleduje pouze dvě zóny – koryto (řečiště) vodního toku a nivu s navazujícími svahy údolí, nebo říčními terasami. V této metodě jsou rozlišovány dva druhy potenciálního přirozeného stavu – (1) před ovlivněním okrajových podmínek lidskou činností. Jedná se o tzv. srovnávací „nulový bod“ pro hodnocení současného stavu a (2) pro aktuální okrajové podmínky. V kombinaci s využitím lokality se jedná o podklad pro návrh opatření (Šindlar, 2008). Metoda je zaměřena především na hodnocení korytotvorných procesů, v konečném statistickém zpracování pracuje s různou váhou jednotlivých parametrů a výsledné hodnoty jsou udávány v % kvality srovnávacího nulového bodu. Pro hodnocení je používáno a vytvářeno velké množství tematických GIS vrstev.

Různou statistickou váhu jednotlivých parametrů při výpočtu výsledného ekohydrologického stupně v každé sledované zóně používá i metoda HEM (Langhammer, 2008). Tato metoda vznikla při potřebě hodnocení stavu vodních toků po povodních v roce 2002 na Blanici, následně byla použita i při hodnocení Sázavy. Hodnotí tedy především průchodnost toku a inundačního území, možnosti retence a antropogenní ovlivnění morfologie toků. Metoda HEM je oficiálně doporučenou metodikou MŽP ČR pro hydromorfologický průzkum vodních toků v České republice. K dispozici je i její modifikovaná podoba HEM-F, díky níž je možné identifikovat úseky toků, které negativně ovlivňují průběh povodně krajinou (Langhammer, 2009).

Mnohé instituce a odborná pracoviště zabývající se v nějakém směru výzkumem či managementem vodních toků v ČR si vytvářejí své vlastní interní metodiky mapování toků – přičemž sestavy monitorovaných parametrů v těchto případech úzce korespondují se zaměřením práce těchto institucí (Smetana, 2008). Na katedře fyzické geografie a geoekologie Přf UK vznikly výše zmíněné metody Matouškové a Langhammera, vlastní metodiku vyvinul Výzkumný ústav Vodohospodářský T.G. M., katedra hydrauliky a hydrologie ČVÚT, geografický ústav Přf na MÚ v Brně (in Smetana, 2008). Vymezením silně ovlivněných vodních útvarů se zabývali v DHI (2004). Ze slovenských autorů se hydromorfologický hodnocením vodních toků zabývá především Lehotský a Grešková z Geografického ústavu SAV (Lehotský, 2006, Lehotský a Grešková 2005a).

Z výše uvedeného vyplývá, že problematice ekohydrologického hodnocení vodních toků je věnováno stále více pozornosti, přičemž jednotliví autoři přichází s vlastními přístupy a formulací metodik. Tyto metody se liší v závislosti na charakteru území, pro které byly navrženy (různé fyzicko-geografické regiony) a účelu, proč jsou vodní toky hodnoceny. Kopp (2004) rozlišuje šest zaměření ekohydrologických přístupů. Jde o (1) hydrobiologický přístup, (2) podklady pro návrh revitalizace povodí, (3) hodnocení antropogenních vlivů, (4) hodnocení látkové bilance, (5) geochemický výzkum povodí a (6) krajinně-ekologický výzkum povodí. Podle Matouškové (2003) je problematické vytvoření jedné univerzální metody aplikovatelné na všechny řády vodních toků.

## 4.2 *Ověření vypovídací schopnosti*

Důležitou součástí vývoje jednotlivých metodik hodnocení vodních toků je ověření její vypovídací schopnosti. V rámci řešení projektu GA ČR, jehož výsledkem byla formulace metody EcoRivHab, byly porovnávány vybrané metody ekohydrologického terénního hodnocení. V povodí Rolavy byly srovnávány výsledky hodnocení metod EcoRivHab a LAWA (Lelut, 2007), v povodí Liběchovky byly porovnávány výsledky mapování podle metod EcoRivHab, LAWA a RBP - Rapid Bioassessment Protocol (Šípek, 2006 a Šípek a kol, 2009), v povodí horní Blanice byly porovnávány výsledky mapování podle metod EcoRivHab, LAWA a LAWA overview survey (Vondra, 2006) a v povodí Bíliny výsledky hodnocení metod EcoRivHab a LAWA Overview (Dvořák, 2008). Porovnáním vybraných metod a srovnávací analýzou konkrétních aplikačních výsledků metod EcoRivHab, LAWA-FS a LAWA-OS se zabývali Weiß a kol (2008),

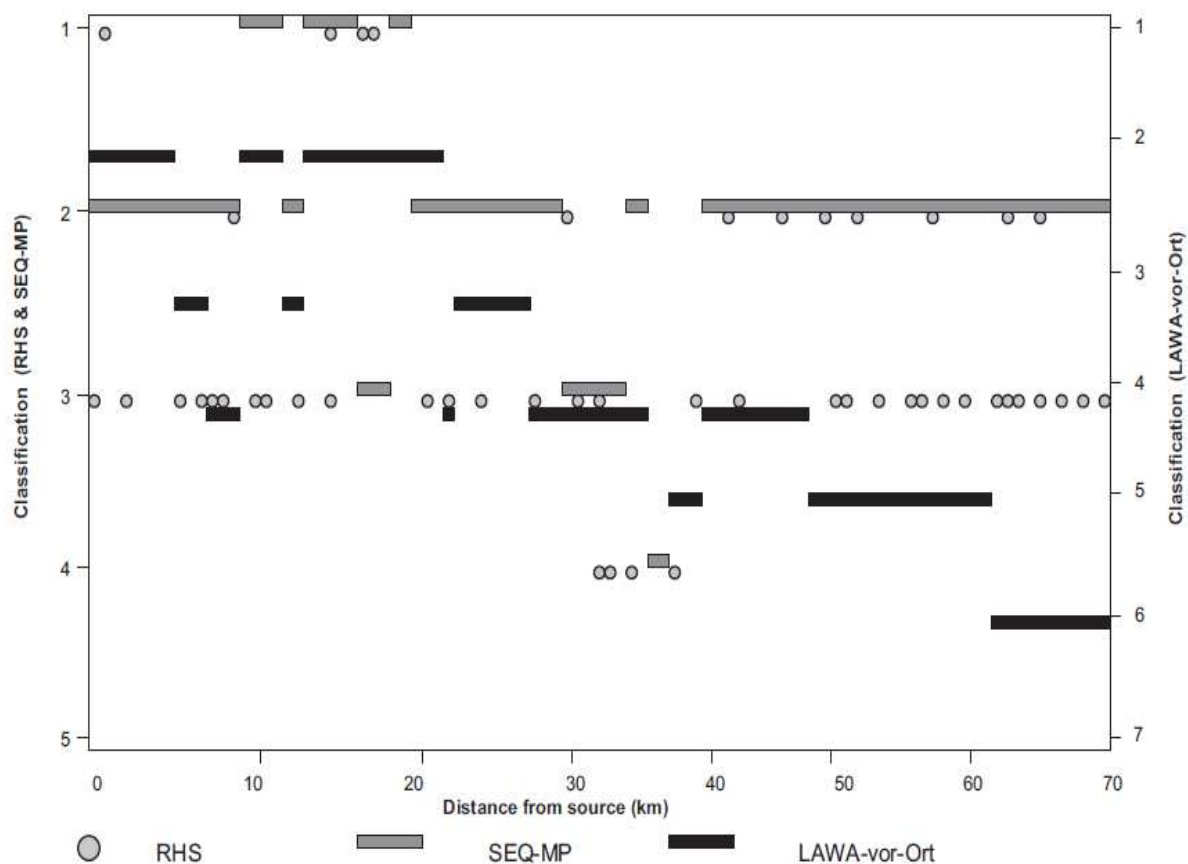
Z mapování v povodí Rolavy vyplývá, že výsledky získané z obou metodik (po přepočtu ze sedmistupňové škály LAWy na pětistupňovou používanou v EcoRivHab) jsou v podstatě srovnatelné, což vypovídá o jejich objektivitě při aplikaci v malých až středně velkých povodích. Pouze v případě hodnocení využití údolní nivy vycházejí výsledky z monitoringu LAWa příznivěji v porovnání s EcoRivHab (Lelut, 2007). To je možné vysvětlit jednak srovnatelností obou použitých metod a jednak i faktem, že povodí Rolavy je zástupcem horského toku s malým antropogenním ovlivněním. Podle Šípka (2006) metodika LAWa preferuje negativní charakteristiky z pohledu antropogenního ovlivnění, takže na úsecích toku, které byly výrazněji antropogenně modifikovány vychází výsledná kvalita habitatu hůře, než při mapování metodou EcoRivHab. Tím se LAWa od dalších dvou metod (EcoRivHab a RBP) odlišuje, nicméně všechny tři metody prokázaly schopnost identifikovat antropogenně ovlivněné oblasti (Šípek, 2006).

Metoda RBP je v porovnání s EcoRivHab a LAWou také nejméně složitou a tedy i pracnou metodou. Kvalitu habitatu hodnotí pouze na základě deseti parametrů oproti 32 parametrům EcoRivHab a 25 parametrům LAWy (Šípek, 2006). Součástí „složitějších“ metod jsou parametry, které sice výrazněji neovlivňují výsledek hodnocení a mají tedy spíše dokumentační charakter, na jejich základě je ale možné následně přesněji rozdělit a charakterizovat jednotlivé kategorie antropogenně ovlivněných úseků.

Z porovnání metod založených na terénním mapování (EcoRivHab, LAWa) s metodou založenou na hodnocení distančních podkladů (LAWa overview survey) podle Vondry (2006) vyplývá, že LAWa – OVS podhodnocuje a jednotlivé úseky zařazuje do kategorie s lepší kvalitou habitatu než metody založené na terénním průzkumu. V tomto případě je však otázkou, zda použití distančních dat je pro takto malý tok vhodné a zda byly do hodnocení započítány všechny potřebné informace, např. úpravy koryta toku.

Porovnáním výsledků metod RHS, LAWa – FS a SEQ-MP se zabýval i Raven et al (2002). Všechny tři terénní metody byly aplikovány na 70 km úsek toku řeky Sarre ve Francii, všechny tři mapování prováděl jeden mapovatel. Výsledky porovnání jsou zobrazeny na obr. 1. Z porovnání jsou zřejmé rozdíly ve výsledcích, které Raven vysvětluje především rozdílnou definicí referenčního stavu.





Obr. č. 1: Porovnání výsledků mapování hydromorfologického stavu toku Sarre pomocí metod RHS, LAWA-FS (zde LAWA vor Ort) a SEQ-MP, převzato dle Raven 2002

## 5 Využití distančních podkladů v hodnocení habitatu vodních objektů

Dálkový průzkum Země je dynamicky se rozvíjejícím odvětvím. Především v posledním desetiletí se významně zvýšil jak počet družic snímající Zemi s velmi vysokým prostorovým či spektrálním rozlišením, tak i možnosti automatického zpracování pomocí digitálních technologií. Hlavním přínosem v oblasti zpracování je vývoj nových softwarových aplikací a jejich extenzí, které se specializují na analýzu obrazových materiálů. Hodnocení toků a celých povodí podle distančních podkladů je náročné na objem dat a rychlost zpracování, podstatný je tedy i pokrok informačních technologií v této oblasti.

Oproti terénním metodám hydromorfologického hodnocení vodních toků je vývoj distančních metod zatím v počátcích. Většinou jsou publikovány případové studie zaměřené na úzká ekohydrologická témata, které se zabývají detekcí daných objektů na snímku a přesností zpracování. Objekty tedy nejsou hodnoceny, není určován jejich ekohydrologický stav, míra antropogenního narušení či jejich funkčnost a hodnota v krajině. Z hlediska průběhu zpracování je možné rozdělit stávající přístupy do tří základních skupin:

- A. konvenční metody založené na vizuální interpretaci snímků - jde o metody, které plně nevyužívají metod zpracování distančních dat. Hodnocení je založeno na

„pozorování“ území z ptačí perspektivy, které distanční data poskytují. Nejvýznamnějším zástupcem konvenčních metod je německá metoda LAWA-OVS (Fleischhacker a kol, 2002), která vznikla na konci devadesátých let minulého století. Metoda byla vyvinuta spolu s terénní metodou LAWA-FS jako varianta pro hodnocení velkých vodních toků. Další metodou je pak slovenský „Hydromorfologický průzkum a hodnocení vodních toků“ (Lehotský, 2006), který z LAWy–OVS v podstatě vychází. Obrazová data a tematické vektorové vrstvy byly použity pro hodnocení vodních toků v zájmovém území Kačina (Lipský a Bicanová, 2009, Bicanová, 2009), pro hodnocení byla použita modifikovaná metoda EcoRivHab.

- B. metody založené na zpracování obrazu leteckých snímků - zpracování leteckých snímků je založeno především na metodách zpracování obrazu, jako je filtrování a ostření obrazu, detekce hran a objektově orientované klasifikace. Doposud se zpracování leteckých snímků, především z důvodu časové náročnosti, používalo především pro tematicky úzká témata na prostorově malých modelových územích. Příkladem takového hodnocení mohou být práce Gilveara (2004) a Winterbottomové (1997) ze skotské university ve Stirlingu, britsko-kanadská spolupráce Chandlera, Rice a Churcha (2004), nebo Roye a Sinha (2007) z Indického institutu technologie v Kanpuru.
- C. metody založené na spektrálních analýzách multi- a hyperspektrálních snímků. Spektrální snímky zachycují zemský povrch i v jiných než viditelných vlnových délkách, což umožňuje detekci objektů, které by jinak zůstaly pro lidské oko nerozlišitelné. Využívány jsou snímky ze satelitů, které snímají Zemi v pravidelných časových intervalech v předem určenou hodinu a se stálým spektrálním a relativně stálým prostorovým rozlišením. Na podkladu těchto snímků byla provedena hodnocení celých povodí, v naprosté většině publikovaných studií však byla pozornost zaměřena spíše na hodnocení vegetace podél toků, nebo hodnocení stavu mokřadů. Metody hodnocení jsou většinou založeny na výpočtu indexů, které určují stav objektu. Příkladem může být práce Tinera (2004).

Druhým zdrojem spektrálních dat jsou spektrální skenery připevněné na malých nosičích, které létají naprogramované na objednávku v malých výškách a pouze nad zkoumaným územím. Data z těchto skenerů mají většinou velmi vysoké prostorové rozlišení a zemský povrch snímají řádově v desítkách až stovkách spektrálních kanálů. Pořízení takovýchto dat bývá finančně i časově náročné, nasnímávána jsou tedy pouze prostorově malá modelová území. Příkladem studií mohou být opět práce Gilveara (2007, 2008), nebo Marcuse a Legleitera (2003).

Jak již bylo zmíněno výše, častěji než ucelené metodiky jsou řešeny konkrétní, úzce specializovaná témata. Středem zájmu jsou jednotlivé struktury v korytech toků, sledování hloubek v korytě, erozi břehů, charakter doprovodné vegetace, využití inundační zóny, stav celého povodí a srovnání stavu před a po průchodu povodňové vlny. Způsobu zpracování, charakteru dat, jednotlivým parametrům vhodným k mapování, určení míry přesnosti a aplikacím v modelových územích se v rešeršně pojatém článku věnoval Marcus (Marcus a Fonstad, 2008). Stručný přehled aplikací podal Gilvear (2004). Mimo jiné zde charakterizoval

sedm metod mapujících habitat v korytech toku na podkladu spektrálních, nebo leteckých snímků, přičemž velká pozornost byla věnována přesnosti zpracování a detekci objektů. Z hlediska jednotlivých typů objektů má míra přesnosti velice široké rozpětí od 11 % po 95 % v závislosti na způsobu vymezení a charakteru dat a sledovaného objektu.

V následujícím textu budou stručně charakterizovány stávající metody hodnocení a přiblíženy postupy mapování habitatu na podkladě leteckých a spektrálních snímků.

### 5.1 LAWA-OVS (*Overview Survey*)

V Německu vznikly první metodiky hodnocení na konci devadesátých let. Každý federální stát vytvořil svojí vlastní mapu stavu habitatu a to buď na podkladě terénního mapování (LAWA-FS, Field Survey), nebo zpracování mapových podkladů (LAWA – OVS, Overview Survey). Výsledky byly formou mapy publikovány v roce 2002 (Kamp, U., Binder, W., Hölzl, K., 2007).

Metoda LAWA-FS je založena na porovnání současného stavu s předem definovaným referenčním stavem. Měřítkem referenčního stavu jsou potenciální přirozené podmínky, nebo optimální ekologické podmínky povrchových vod závislé na současných podmínkách (lawa, 1998). Výsledný stupeň narušení je vypočítán jako aritmetický průměr z 25 sledovaných parametrů tříděných v hlavním členění do tří zón – koryto, břehy a 100m pás nivy podél toku. Podle výsledku průměru je pak hodnocený úsek přiřazen k jedné ze sedmi tříd narušení (1-nenarušený, 7-zcela narušený). Hodnocení probíhá v délkově homogenních úsecích, přičemž pro malé a středně velké toky to je 100 m, pro velké toky 1 km.

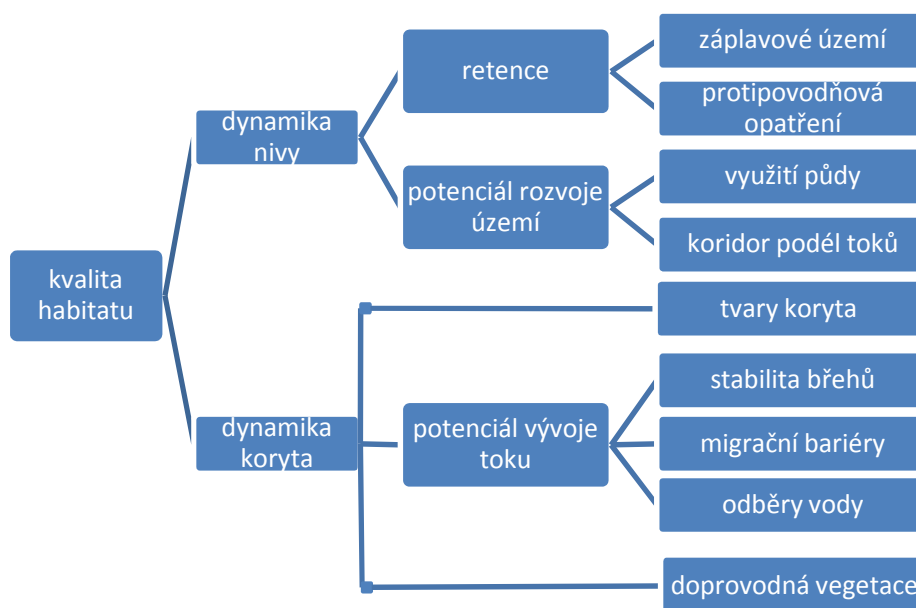
Metoda LAWA-FS je založena na detailním hodnocení velkého množství parametrů, které podává o sledovaném toku a celém povodí komplexní přehled. V původní metodě šlo o sedmistupňový systém, který byl (i z hlediska potřeb RSV) měněn na pětistupňový. Terénní hodnocení je v porovnání s distančním hodnocením časově náročné.

Metoda LAWA-OVS je v současnosti v podstatě jediná klasická metoda, která komplexně hodnotí vodní toky tzv. „od zeleného stolu“. Využívá k tomu historické a současné topografické nebo tematické mapové podklady, distanční data, tematické GIS vrstvy a informace od správců toků. Proces hodnocení a zpracování výsledků je popsán s pověstnou německou precizností a smyslem pro detail a k metodice byla vydána souhrnná publikace *Strukturgüte von Fließgewässern* (Zumbroich, Müller, Friedrich, 1999). Jednotlivé federální státy metodu přijaly, aplikují k hodnocení vodních toků na svém území a přizpůsobují si ji vlastním podmínkám a aktuálním potřebám. V publikacích se tedy popis metody může lišit a to jak v systému parametrů, tak i v jejich bodovacím systému a výsledném hodnocení. Např. byly parametry různě přeskupovány a byl měněn počet tříd, do kterých může být úsek klasifikován.

Metoda byla použita i na území ČR při hodnocení úseků Labe pro potřeby Mezinárodní Komise na ochranu Labe (MKOL). Oficiální metodika je publikována na internetových stránkách MKOL. Z této varianty (Fleischhacker, Kern, Sommer, 2002) a z publikace Kampa

(Kamp, Hölzl, Binder, 2007) bylo vycházeno při popisu metody v následujícím textu. Dalšími aplikacemi metody v našich podmínkách je hodnocení hlavního toku Bíliny v diplomové práci Dvořáka (Dvořák, 2008, Dvořák, Matoušková 2011) a hlavního toku Blanice v diplomové práci Vondry (Vondra, 2006).

Referenční stav zde představuje dnešní potenciálně přirozený stav, což je stav, který by nastal po ukončení veškerého využívání vodního toku, jeho říční nivy a po odstranění všech staveb (Fleischhacker, Kern, Sommer, 2002). Hydromorfologický stav je hodnocen z hlediska dvou hlavních jednotek – dynamiky koryta toku a dynamiky údolní nivy (Kamp, U., a kol, 2007). Struktura a hierarchie hodnotících parametrů je zobrazena na obr. č. 2.



Obr. č. 2: Struktura a hierarchie hodnotících parametrů metody LAWA-OVS

Podle: LUA BB, 2002 in Kamp, U., Binder, W., Hölzl, K., 2007, přeloženo

Výsledný hydromorfologický stupeň není aritmetickým průměrem všech sledovaných parametrů, ale některé základní parametry jsou významnější a v statistickém zpracování mají větší váhu. Obecně lze říci, že významnější jsou parametry hodnotící dynamiku toku, méně významné pak parametry hodnotící dynamiku nivy. Zároveň je zde uplatňováno pravidlo minima, tedy že celek je tak silný jako jeho nejslabší část. V praxi to znamená, že dobré charakteristiky údolní nivy nemohou absolutně vyvážit špatné charakteristiky koryta toku a naopak (Kamp a kol, 2007). Zvláštností zde však je možnost snižování (zlepšování) hodnot jednotlivých parametrů díky výskytu určitých specifických říčních struktur. Tato možnost tedy pak může vést k zlepšování jak dílčího tak i následně celkového ekomorfolického stupně jednotlivých mapovaných úseků (Vondra, 2006).

Metodou LAWA-OVS se pokusil Dvořák ve své diplomové práci (Dvořák, 2008) hodnotit hlavní tok Bíliny. Z důvodu neexistence dostatečných mapových podkladů však byly některé parametry hodnoceny na podkladě terénního mapování (struktury dna, akumulace biologického opadu v korytě a charakter břehových porostů), některé nebyly hodnoceny

vůbec (odběry vody z koryta). Výsledný ekomorfologický stav byl vypočítán aritmetickým zprůměrováním všech hodnot sledovaných parametrů, parametry tedy neměly oproti původní metodice rozdílnou statistickou váhu. Výsledky hodnocení pak srovnával s výsledky hodnocení získané pomocí terénní metody EcoRivHab.

### ***5.2 Hydromorfologický průzkum a hodnocení vodních toků (Lehotský, 2005b, 2006 a 2007)***

Hodnocení je založeno na principu, že čím více se stav habitatu blíží referenčním podmínkám a čím vyšší je jeho prostorová variabilita, tím vyšší kvality dosahuje. Předpokladem je tedy znalost referenčních podmínek, výhodou pak pokud se nachází v hodnoceném povodí. Určují se základní geomorfologické vztahy mezi koryto-nivním systémem a ostatními údolními systémy, to znamená příčinné vztahy mezi charakterem fluvialních procesů v regionálním měřítku a jejich lokálním dopadem. Alternativou v případě antropogenně ovlivněných toků bez přirozených, nebo přírodě blízkých úseků mohou být historické kartografické podklady.

Hodnocení probíhá v délkově homogenních úsecích, které jsou dále děleny do pěti podúseků. V rámci úseků jsou parametry hodnoceny na základu distančních podkladů a informací od správců toku. Jedná se o hydrologické parametry, parametry hodnotící průběh toku krajinou a některé parametry popisující tvary v korytě (variabilita šířek a akumulace dřeva v korytě). Sleduje se půdorysný typ vodního toku, typ údolí, stupeň zakřivení vodního toku a projevy nestability fluvialního systému, jako je např. degradace koryta, břehová eroze, stavební zásahy atd.

Na úrovni podúseků je hodnocení založeno na terénním mapování a sledovány jsou tvary koryta a břehů. Parametry záplavového území jsou hodnoceny podle distančních dat na hierarchické úrovni podúseků. Délka úseků se mění s ohledem na šířku toku, využití půdy, morfologické a geologické podmínky celého povodí

### ***5.3 Mapování hydromorfologických struktur pomocí nástrojů zpracování obrazu***

Pracovní tým pod vedením D.J. Gilveara se dlouhodobě zabývá využitím dat dálkového průzkumu Země pro mapování hydromorfologických struktur v korytě toku. Pro tyto účely byly pořízeny černobílé letecké snímky a multispektrální snímky ze skeneru Deadalus s jedenácti spektrálními kanály ve viditelné, blízké a střední infračervené a tepelné části spektra. Pro kalibraci údajů vypočtených na základě zpracování obrazu snímků byla použita data z rozsáhlého terénního měření. Jako modelové území byly vybrány úseky toků řek Tummel a Tay při jejich soutoku. Snímky byly pořízeny v letech 1992 a 1994, přičemž v roce 1993 bylo území zasaženo povodněmi. Výsledky je tedy možné interpretovat i v rámci studií zabývajících se vlivem povodní na přirozené struktury v korytě toku a na proces renaturace obecně.

Prvotní studie byly zaměřeny na stanovení hloubek toku pomocí nástrojů neřízené klasifikace (Winterbottom a Gilvear, 1997). Z výsledné batymetrické mapy je možné určit variabilitu hloubek toku a hodnotu toku z hlediska možností přirozených útočišť pro vodní organismy a

jejich variability. V další fázi byl pak řešen postup hodnocení příbřežní zóny pomocí nástrojů řízené klasifikace (Bryant a Gilvear, 1999).

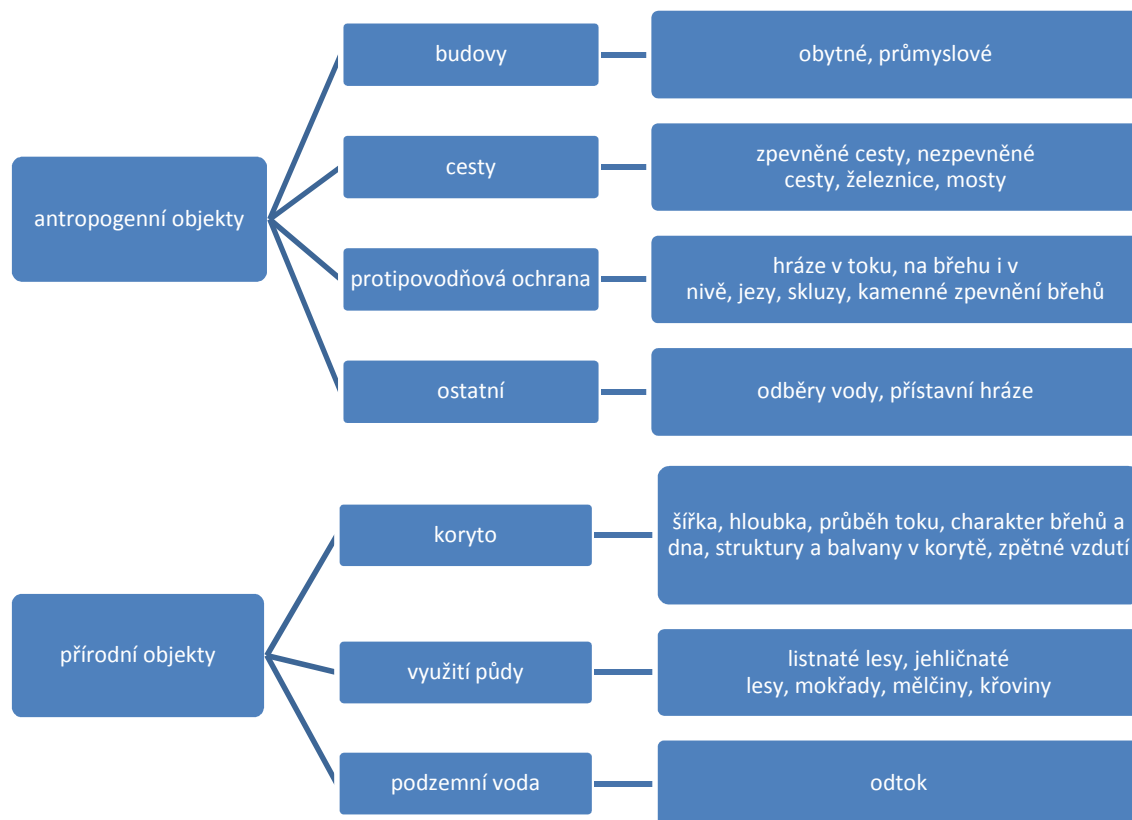
V roce 2004 (Gilvear, Davids a Tyler, 2004) byl publikován systém mapování vodních toků s ohledem na požadavky EU. Mapovány byly takové parametry, které Rámcová směrnice o vodách uvádí jako nezbytné pro určení stavu vodních toků. Mapování probíhalo na podkladě leteckých i satelitních snímků konvenční vizuální interpretací i pomocí zpracování obrazu. Z porovnání výsledků vychází, že jak letecké, tak satelitní snímky jsou vhodným prostředkem pro mapování hydromorfologických parametrů, přičemž letecké snímky poskytují lepší výsledky při sledování prostorově malých objektů. V tomto konkrétním případě to bylo dáno rozdílným prostorovým rozlišením podkladových dat. Oproti 30 cm v případě leteckých snímků měly spektrální snímky rozlišení pouhé 2m. Analýza spektrálních snímků zase poskytuje přesnější batymetrické mapy v případě hodnocení variability hloubek.

Pomocí chybových matic byla sledována přesnost zpracování a to jak přesnost uživatelská, tak přesnost tvůrce mapy. Průměrná přesnost byla stanovena na 60 % v případě leteckých snímků a na 68 % v případě spektrálních snímků, přičemž hodnoty se různí pro jednotlivé objekty.

V případě leteckých snímků byla jako nejvhodnější nástroj zpracování označena neřízená klasifikace, kdy byl přednastaven velký počet klasifikačních tříd (50), které byly následně sloučeny do 14 kategorií s ohledem na přesnost zpracování. Spektrální snímky byly zpracovány pomocí řízené klasifikace. Následná kontrola obrazových výsledků je vhodná v případě obou druhů snímků.

Na Obr. 3 je znázorněn systém mapovaných parametrů. Parametry byly vybírány pro konkrétní modelové území a na základě prvotního zpracování dat. Nejedná se tedy o ucelený systém, spíše jen o výčet parametrů, které bylo možné na úsecích řeky Tummel a Tay pomocí distančních dat mapovat. Zároveň nejde ani o systém hodnocení, sledována byla pouze možnost detekce a její přesnost.

Analýza obrazových dat byla využita v roce 2008 (Gilvear, 2008) při hodnocení toků z hlediska vhodného habitatu pro mihule říční (*Iamperta fluviatilis*). Sledována byla přítomnost přirozených struktur v korytě toku a variabilita hloubek.



Obr. č. 3: Struktura parametrů navržených při mapování toků v modelové území řek Tummel a Tay

#### 5.4 Mapování habitatu, hloubek a dřevních akumulací na podkladu hyperspektrálních dat

Mapováním habitatu a morfologie koryta na podkladu hyperspektrálních snímků se zabýval pracovní tým dvojice Marcuse a Legleitera (Marcus, Legleiter a kol, 2003, 2004, 2008, 2010). Pro mapování byla použita data ze skeneru připevněného na helikoptěře, který snímal území ve 128 spektrálních kanálech. Jako modelové území byly použity úseky toků třetího, čtvrtého a pátého řádu v Yellowstonském národním parku. Ve stejné době kdy bylo území nasnímáno, byla zde provedena i řada terénních měření a mapování, které byly následně použity ke kalibraci snímků. Pro ověření vypovídací schopnosti mapování byly vypočítány chybové matice.

Snímky byly zpracovány pomocí analýzy hlavních komponent a následně klasifikovány řízenou klasifikací, přičemž jako rozhodovací klasifikátor byl vybrán princip maximální pravděpodobnosti. Jako trénovací plochy byly použity objekty identifikované během terénního mapování. Cílem klasifikace bylo identifikovat oblasti turbulentního proudění, peřejnaté úseky, tůňe a skluzy. Pro výpočet hloubek byly stanoveny rovnice, které kalkulují se spektrální odrazivostí. Protože je spektrální odrazivost kromě hloubek závislá i na charakteru substrátu a povrchové turbulenci hladiny, byly úseky toku rozděleny do homogenních jednotek právě podle charakteru proudění a substrátu. Pro mapování dřevních akumulací byla použita maska, která odfiltrovala okolí sedimentačních lavic, na kterých jsou zbytky dřeva

uloženy. Pro samotné mapování pak byla stejně jako v případě mapování habitatu použita řízená klasifikace.

Studie potvrdila hypotézu, že čím vyšší řád toku, tím větší přesnost mapování. V korytech větších toků se tvoří pravděpodobně homogennější objekty, které jsou pak na snímcích snadněji identifikovatelné. Největší nepřesnosti klasifikace byly zaznamenány na přechodu jedné kategorie v druhou. Řešením může být filtrování obrazu, které nerozhodné pixely zařadí na základě zvoleného klasifikátoru k jedné či druhé kategorii. Dalším možným řešením je vytvoření bufferu kolem správně vymezeného objektu. V takovém případě vzrostla přesnost všech klasifikovaných objektů nad hranici 85 % (původně se pohybovala v rozpětí 30-90 %).

Zpřesněním výsledků se Legleiter zabýval i ve své další práci (Legleiter, Goodchild, 2004), kdy byla posuzována přesnost klasifikací za použití fuzzy logiky z hlediska středů shluků, hydraulického modelování a pokročilých statistických nástrojů.

### **5.5 Příklady studií zaměřených na jednotlivá hydromorfologická témata**

V následujícím textu budou přiblíženy studie, které se zabývají detekcí nebo hodnocením úzce zaměřených hydromorfologických a ekohydrologických témat. V současné době v podstatě neexistuje metodika hodnocení vodních toků, která by využívala výhod zpracování, které distanční data poskytují. Jedná se především o nástroje zpracování obrazu, jako jsou řízené a neřízené klasifikace v případě snímků z různých částí světelného spektra, nebo filtrování obrazu a objektové klasifikace v případě klasických leteckých snímků. Cílem uvedených studií nebylo zhodnocení sledovaného území a určení jeho ekologické hodnoty, nebo míry antropogenního narušení. Spíše byly testovány možnosti automatické detekce daného jevu na obrazovém materiálu, případně sledování změn v čase.

S rozvojem technologie snímající zemský povrch v různých intervalech světelného spektra ve velmi vysokém prostorovém rozlišení a softwaru používaného na následné zpracování vznikají postupy hodnocení konkrétních, úzce zaměřených témat. Jedná se o jednotlivé struktury v korytech toků, sledování hloubek v korytě, erozi břehů, charakter doprovodné vegetace, využití inundační zóny a stav celého povodí. Takovéto úzce specializované postupy jsou řešeny častěji než komplexní hodnocení vodních objektů v krajině a jejich okolí.

#### **5.5.1 Modelové území řek Tummel a Tay, Skotsko (pracovní tým Gilvear a kol, 1995, 1997, 1999, 2006, 2008)**

Na modelovém území řeky Tay a jejího přítoku řeky Tummel byl na podkladě distančních dat aplikován doposud nejucelenější systém detekce jednotlivých hydromorfologických parametrů. Vedoucí osobou pracovního týmu je profesor David Gilvear z univerzity ve Stirlingu ve Skotsku. V uvedených studiích nejsou řešeny možnosti hodnocení zkoumaných parametrů, zájem je zaměřen na způsob zpracování obrazu, detekci jednotlivých tvarů na obrazovém materiálu a případnou změnu v porovnání dvou časových horizontů. Zkoumané snímky byly pořízeny v letech 1992 a 1994, přičemž v roce 1993 bylo území zasaženo povodněmi.



Řeky Tummel a Tay jsou mělké (maximum kolem 1 m hloubky) šterkonosné toky s pohyblivým korytem bez výrazných antropogenních zásahů, z hlediska hydromorfologie velice heterogenní a nestálé. Pro hodnocení byly použity černobílé letecké snímky a multispektrální snímky ze skeneru Deadalus s jedenácti spektrálními kanály ve viditelné, blízké a střední infračervené a tepelné části spektra. Pro kalibraci výpočetních rovnic byla použita data z rozsáhlého terénního měření.

Jedním ze sledovaných témat je výpočet hloubek v korytě toku (Gilvear, 1997 a 1999). Na základě korelace tří spektrálních pásem ve viditelné a blízké infračervené části spektra s daty z terénního měření byla sestavena rovnice na výpočet hloubky toku a vytvořena mapa s izobatami po 20 cm. Stejný postup byl aplikován i na černobílé letecké snímky, kde však výsledná mapa vykazovala nižší míru přesnosti než v případě spektrálních snímků. Jednalo se především o úseky, kde se ve vodní hladině odrazilo Slunce, nebo úseky s „drsnějším“ povrchem, jako jsou peřejnaté úseky (v některých případech zde byla vypočítána i negativní hodnota hloubky).

Obě metody dokázaly správně identifikovat oblasti tůní a peřejí a jsou použitelné při hodnocení variability hloubek. Pro jednotlivé toky je však nutná kalibrace s terénními daty a stanovení vlastních rovnic výpočtu. Parametry rovnice jsou ovlivněny jednak rozpětím spektrálních kanálů, jednak povětrnostními podmínkami při snímání v případě leteckých snímků, charakterem toku, zabarvením vody a její průhledností. V případě hlubších toků, nebo toků s tmavší nebo zakalenou vodou světlo projde jen menší vrstvou vodního sloupce a možnosti výpočtu hloubek jsou tak limitovány.

Při srovnání batymetrických map z dvou časových profilů je možné sledovat přirozené procesy akumulace materiálu, zahlubování koryta, nebo posunu a změny tvaru jednotlivých objektů v korytě.

K hodnocení využití půdy v příbřežní zóně (Gilvear, 1999) byly spektrální snímky zpracovány pomocí řízené klasifikace, kde jako klasifikátor byla použita metoda nejbližšího souseda. Předem bylo podle znalosti území a charakteru snímků definováno osmnáct kategorií využití území, které byly následně podle výsledků řízené klasifikace a s ohledem na přesnost hodnocení sloučeny do sedmi kategorií. Klasifikovány byly snímky z dvou časových profilů a výsledky byly porovnány pomocí automatické funkce sledování změn. Cílem tohoto srovnání byla kvantifikace změn v korytě toku (změna polohy a rozlohy šterkových lavic) a v příbřežní zóně (detekce míst kde došlo k akumulaci, nebo erozi materiálu).

#### 5.5.2 *Kvantifikace říčního habitatu pomocí multispektrálních snímků (Whited a kol, 2002)*

V modelovém území řeky Yakima na JV státu Washington v USA byla provedena kvantifikace jednotlivých složek habitatu na podkladu multispektrálních snímků nasnímaných ve čtyřech pásmech ve viditelné a blízké infračervené části spektra. Prostorové rozlišení snímků bylo 70 cm, modelové území pokrývá 70 km délky toku a bylo nasnímano v 1,5 km širokém pásu.

V prvním kroku byla řízenou klasifikací vytvořena maska pro vodu, korigovány chyby vytvořené vrženými stíny a voda byla separovaná od okolních povrchů. V pěti lokalitách byly v terénu zjištěny hloubky a rychlosti toku, výsledky zobrazeny do snímků a použity ke kalibraci. Pomocí řízené klasifikace pak byly určeny hloubky a rychlosti v rámci celé masky vody. Habitat vně koryta byl kvantifikován pomocí normalizovaného vegetačního indexu NDVI. Přesnost klasifikací stanovená pomocí chybové matice byla přes 70 %.

#### 5.5.3 *Mapování ponořených struktur v korytě toku (Feurer a kol, 2008)*

Na dvou modelových úsecích francouzského toku Durance byla testována možnost výpočtu hloubek na podkladě obrazových dat. Sledované, cca 1 km dlouhé, úseky s hloubkou do 1,6 m a šířkou toku v rozpětí 10 – 50 m byly z ultralehkého letadla nasnímány na tři různé druhy filmového materiálů (viditelné spektrum, blízké infračervené, tungsten) s prostorovým rozlišením obrazu zemského povrchu v rozmezí 1-3 cm. Filmové materiály byly převedeny do digitální obrazové podoby a referencovány vzhledem k referenčním bodům umístěným v území a zaměřeným pomocí totální stanice, nebo diferenční GPS.

Následně byla provedena regresní analýza mezi radiometrickou hodnotou pixelů ve všech třech spektrech (odpovídajících použitým filmovým materiálům) a hloubkami změřenými v terénu (polohově zaměřené pomocí totální stanice, nebo diferenční GPS), pomocí níž byly hledány koeficienty logaritmické rovnice závislosti DN hodnot pixelů na hloubce.

Pomocí výsledné logaritmické rovnice byly vypočteny hloubky pro celý sledovaný úsek toku, které byly porovnány s nezávislým souborem bodového měření hloubek. Z porovnání byla zjištěna korelace změřených hloubek s vypočtenými v rozmezí 0,23-0,6, přičemž největších rozdílů bylo dosaženo v oblastech zrcadlící se hladiny, nebo lokálního pokrytí dna řasami.

#### 5.5.4 *Automatické mapování objektů v korytě toku na podkladu multispektrálních snímků s vysokým rozlišením (Leckie, Cloney, Jay a Paradine, 2005)*

Na modelovém území 5 km dlouhého úseku toku Tofino Creek na Vancouver Island v Britské Kolumbii byly sledovány struktury v korytě toku. Studie je založena na zpracování multispektrálních snímků s prostorovým rozlišením 80 cm, které byly pořízeny v osmi spektrálních kanálech ve viditelné a blízké infračervené části spektra. Jedná se o podhorský úsek toku před estuáριοvitým ústím do Tichého oceánu, kde dochází k poklesu spádu toku, rychlosti proudění a následné selektivní sedimentaci a tvorbě přirozených struktur v korytu.

Pomocí nástrojů analýzy hlavních komponent a následné řízené klasifikace byly detekovány povrchy s homogenní zrnitostí strukturou substrátu jak v korytě toku, tak při březích a v nivě. Celkem bylo klasifikováno 5 zrnitostních tříd, které bylo možné na snímcích vymezit s dostatečnou přesností. Dále byla klasifikována hloubka vody do tří intervalů, přičemž mělké úseky do 35 cm hloubky vody v celé šíři koryta byly chápány jako indikátory peřejí. Dalšími sledovanými objekty v korytě byly akumulace dřeva, mimo koryto byl pak sledován stav lesa.

V době multispektrálního snímkování byl ve sledovaném úseku toku proveden i terénní průzkum, během nějž byly fotograficky dokumentovány všechny struktury v korytě toku a byl zaznamenán charakter jejich substrátu. Na základě srovnání poznatků z terénního mapování a výsledků zpracování snímků byla určena přesnost a spolehlivost, s jakou je možné jednotlivé třídy na snímkách pomocí řízené klasifikace identifikovat.

### 5.5.5 Klasifikace koryta toku na podkladu barevných leteckých snímků (Chandler, Rice a Church, 2004)

Na velice malém modelovém území (120x80 m) v povodí řeky Fraser v Britské Kolumbii v Kanadě byly v době nízkých vodních stavů pořízeny barevné letecké snímky v pěti různých měřítkách od 1:1000 až po 1: 10 000. Zároveň bylo území zmapováno pomocí motorizované totální stanice, bylo vymezeno 15 objektů určených k ověření vypovídací schopnosti zpracování leteckých snímků a bylo určeno zrnitostní složení těchto objektů.

Území na snímcích bylo zpracováno pomocí nástroje řízené klasifikace, přičemž jako trénovací plochy pro snímky bylo použito pět z patnácti objektů zmapovaných v terénu. Klasifikace byla cílena na pět výsledných tříd podle zrnitosti substrátu. Výsledky byly porovnány se zbylými deseti objekty, které nebyly použity v procesu trénování. Kromě „balvanitých objektů“, kde bylo zpracování úspěšné s 90% přesností, byla přesnost velice nízká (v průměru nižší než 40 %).

Snímky byly v dalším zpracování tedy zvýrazněny pomocí konvolučního filtru (s velikostí okna 3x3), který obraz zaostří, zdůrazní se tak textura povrchu a tím se v podstatě zvýší heterogenitu jednotlivých objektů oproti okolí. Výsledky následné řízené klasifikace již vykazovaly vyšší míru přesnosti (v průměru 50 %). Stejně testy provedené na černobílých snímcích měly sice nižší míru přesnosti, ale pouze jen v řádu jednotek procent.

Dosažená přesnost hodnocení není zcela dostatečná. V tomto konkrétním případě mohla být snížena některými faktory, jako např. špatné povětrnostní podmínky při snímkování, nebo charakter substrátu. Nicméně důležitým zjištěním je fakt, že přesnost zpracování roste se snižujícím se počtem tříd, do kterých je obraz klasifikován, není ovlivněna měřítkem (velice podobné výsledky pro snímky ve všech pěti měřítkách), zpracování poskytuje v podstatě srovnatelné výsledky pro černobílé i barevné snímky a jsou zde velké možnosti v oblasti filtrování obrazu před samotnou řízenou klasifikací.

### 5.5.6 Hodnocení povodí pomocí indexů na příkladu toku Nanticoke (Tiner, 2004)

Na modelovém území povodí toku Nanticoke byla testována možnost hodnocení území na základě ekologických indikátorů. Na území 1266 km<sup>2</sup> bylo sledováno celkem deset dílčích ekologických indikátorů, z nichž tři indikátory hodnotí obecné vlastnosti habitatu, pět indikátorů hodnotí ekologický stav stojatých vod, jejich zázemí a změnu v porovnání s historickými materiály a dva indikátory hodnotí vlastnosti tekoucích vod – upravenost vodních toků a charakter koridorů vodních toků (doprovodných vegetačních pásů).

Výsledný „Index přirozené integrity habitatu“ je součtem hodnot dílčích indexů, přičemž jednotlivým indexům byla v rámci celkového součtu přiřazena různá váha významnosti. Celý koncept ekologických indikátorů byl navržen jako nástroj monitoringu rozsáhlých území pro agentury ochrany přírody.

## 6 Charakter dat a analýza obrazu

Jak již vyplývá z rešerše stávajících metodik distančního hodnocení vodních toků, v současné době jsou převážně využívány tři typy dat – letecké snímky, multispektrální snímky a hyperspektrální snímky, přičemž jako rozhodovací kritéria pro výběr typu dat pro zpracování v konkrétním modelovém území je účel zpracování, finanční a faktická dostupnost snímků a jejich prostorové, spektrální, časové a radiometrické rozlišení. Dobrovolný (Dobrovolný, 1998) definuje jednotlivé druhy rozlišení následovně:

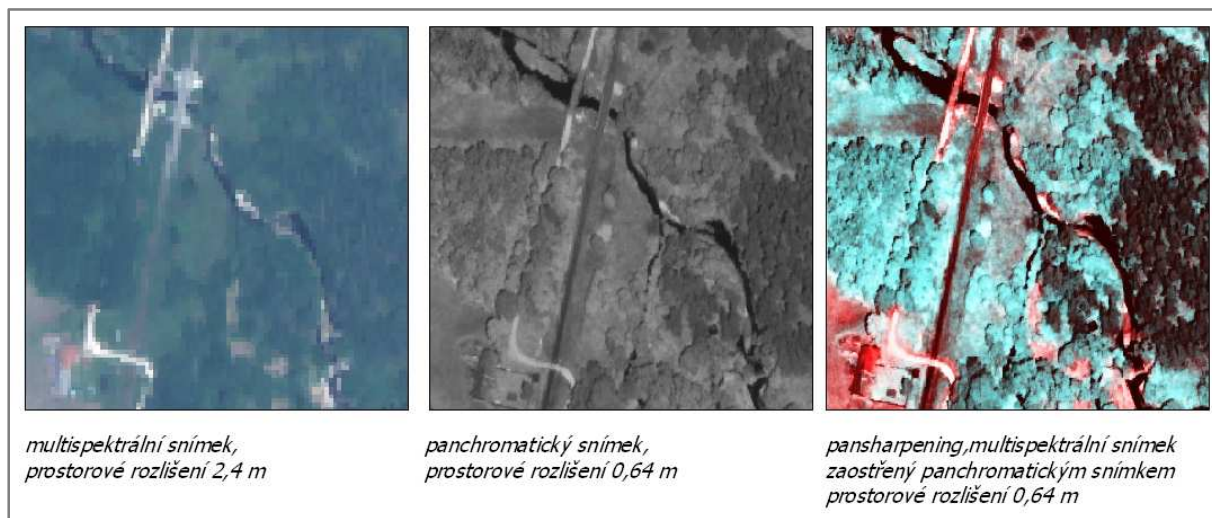
- časové rozlišení udává, jak často systém poskytuje snímky daného území.
- prostorové rozlišení je dáno velikostí obrazového prvku (pixelu). Definuje tedy nejmenší objekt, který ještě může být na snímku rozpoznán. U analogových snímků se udává počtem čar rozlišitelných na 1 mm šířky
- spektrální rozlišení udává šířku intervalu vlnových délek elektromagnetického spektra, ve kterém senzor záření zaznamenává
- radiometrické rozlišení definuje počet rozlišitelných úrovní signálu, udává tedy citlivost senzoru na sílu signálu.

Mapování na podkladu distančních dat má oproti terénnímu mapování řadu výhod i nevýhod. Mezi nevýhody patří především zakrytí mapovaných struktur vegetací a to jak v případě přirozených objektů, např. překrytí drobných toků korunami stromů téměř v celé šířce, tak i v případě antropogenních objektů, kdy technické úpravy bývají cíleně nebo spontánně překryty vegetací a na snímcích pak vypadají jako přirozené. Další nevýhodou pak jsou odlesky Slunce ve vodní hladině, které znemožňují detekci vodních objektů, nebo naopak stíny za objekty, v případě mapování hloubek nutnost kalibrace s terénními daty. Výhodami oproti terénnímu mapování je relativní časová nenáročnost a možnost hodnocení toků v jejich prostorově širším zázemí, možnost mapování i nepřístupných, nebo vzdálených oblastí a možnost srovnání ve více časových horizontech.

### 6.1 Družicové snímky

V současné době léta nad Zemí řada družic snímajících její povrch. Pro účely hydromorfologického hodnocení středně velkých vodních toků jsou však využitelné pouze ty, které snímají s velmi vysokým prostorovým rozlišením (VVR). Kromě předem definovaných spektrálních pásem snímají skenery i v celém (panchromatickém) spektrálním pásmu, které má výrazně vyšší prostorové rozlišení než data pořízená v jednotlivých spektrech (prostorové rozlišení pro jednotlivé družice jsou uvedena v tab. č. 1). Prostorové rozlišení multispektrálních snímků je možné zvýšit pomocí procesu pan-sharpeningu, který

multispektrální data propojí s daty panchromatickými a vytvoří tak obraz s prostorovým rozlišením panchromatických dat a spektrálním rozlišením multispektrálních dat. Příklad pansharpeningu je zobrazen na následujícím obr. č. 4.



Obr. č. 4. : Příklad zaostření multispektrálních dat panchromatickými daty, snímky z družice QuickBird, povodí Blatnice

V současné době je možné využít data z následujících družic - QuickBird, WorldView 1 a 2, IKONOS, EROS B, KOMPSAT-2, OrbView-3, GeoEye-1. Přehled vybraných charakteristik těchto družic je podán v tab. 1.

Tab. č. 1: Přehled vybraných charakteristik současných družic s VHR

Družice	rok vypuštění	rozlišení		počet spektrálních pásem
		v PAN (m)	v MS (m)	
IKONOS	1999	1	4	4 (RGB + near-IR)
QuickBird	2001	0,6	2,4	4 (RGB + near-IR)
OrbView-3	2003	1	4	4 (RGB + near-IR)
EROS B	2006	0,7	pouze PAN	pouze PAN
KOMPSAT-2	2006	1	4	4 (RGB + near-IR)
WorldView-1	2007	0,5	pouze PAN	pouze PAN
GeoEye-1	2008	0,41	1,65	4 (RGB + near-IR)
WorldView-2	2009	0,46	1,84	8 (RGB, near-IR, red edge, coastal, yellow, near-IR 2)

Zdroj: [www.arcdata.cz](http://www.arcdata.cz), [www.digitalGlobe.com](http://www.digitalGlobe.com), [www.landinfo.com](http://www.landinfo.com), Háková (2007)

Pro potřeby této práce byla zpracovávána data z družice QuickBird zakoupená v rámci řešení projektu podporovaného Grantovou agenturou ČR č. 205/05/P102 „Hodnocení ekohydrologického stavu vodních toků v kontextu Rámcové směrnice ochrany vod EU“ a data z družic WorldView 1 a WorldView 2 zakoupená v rámci řešení projektu GAUK č. 13309 „Využití distančních podkladů při hodnocení hydromorfologického stavu vodních toků“.

## 6.2 Klasifikace družicových snímků „per pixel“

Různé typy povrchů mají ve vybraných částech spektra a jejich kombinacích specifické vlastnosti. Pokud se dané typy povrchů dají na základě těchto vlastností identifikovat, hovoří se o tzv. spektrálních příznacích (podpisech). Příznaky je možné definovat v příznakovém prostoru, jehož osy tvoří vybraná spektrální pásma. Na základě umístění příznaku v prostoru je možné klasifikovat obrazová data ve zvolených spektrálních pásmech.

Každý pixel obrazu je jednoznačně umístěn v příznakovém prostoru daných spektrálních pásem, pixely reprezentující v obraze jeden typ povrchu se v příznakovém prostoru shlukují. Tyto přirozené shluky jsou základem neřízených klasifikací – všechny pixely shluků jsou v klasifikovaném obraze přisouzeny jedné třídě, hranice shluků jsou určeny iteračně pomocí předem daných statistických funkcí.

Shlukovou analýzou v příznakovém prostoru jsou řešeny i klasifikace řízené s tím rozdílem, že umístění shluků bylo definováno uživatelem pomocí trénovacích ploch vymezených v obraze pro jednotlivé typy povrchů. Homogenita těchto shluků je opět testována iteračně pomocí statistických funkcí a podle míry homogenity jsou hranice shluků měněny. Pixely jsou přiřazovány do tříd na základě předem zvoleného statistického klasifikátoru, který jednak definuje vymezení hranic shluků a jednak určuje rozhodovací kritérium přiřazení na základě polohy či vztahu pixelů ke shlukům.

Výsledkem řízených i neřízených klasifikací jsou tzv. spektrální třídy, které jsou reprezentovány pixely se stejným, nebo podobným spektrálním chováním v určitém spektrálním pásmu (Dobrovolný, 1998). Výsledkem požadovaným zpracovatelem jsou však často třídy informační, což jsou kategorie, které by měly být obsaženy ve výsledném obraze (Ruda, 2007). Informační třídy často obsahují několik tříd spektrálních (např. informační třída *les* je složena ze spektrálních tříd pro stromy listnaté, jehličnaté, lesní školky atd.), nebo naopak spektrální třídy se mohou skládat z několika tříd informačních (např. spektrální třída *holá půda* může být složena z informačních tříd sedimentační lavice, erozní plochy, pole bez vegetace atd.). Charakter kompozice spektrálních a informačních tříd je individuální jak pro různé možnosti využití a cíle klasifikace, tak i pro data s různým spektrálním a prostorovým rozlišením.

S rostoucími možnostmi prostorového rozlišení distančních dat ztrácí jednotlivé pixely jednoznačný charakter objektů, které představují. Nárůst spektrální variability v rámci jedné

klasifikované třídy způsobil pokles rozlišitelnosti jedné třídy od druhé pomocí „per-pixel“ přístupů. Z toho důvodu se snížila i přesnost klasifikace a grafické výsledky jsou často znehodnoceny efektem „pepř a sůl“, kde jednotlivé sousedící pixely byly přiřazeny k rozdílným třídám. Aby se předešlo tomuto tzv. „problému vysokého rozlišení“, byly vyvinuty metody, které by tento šum měly eliminovat. Metody je možné rozdělit do tří skupin: A) předzpracování obrazu pomocí nízkofrekvenčních filtrů a texturních analýz, B) kontextuální klasifikace a C) zpracování po klasifikaci (Yu a kol, 2006). Tyto metody operují s prostorovým umístěním, jednotlivé třídy jsou charakterizovány i pomocí sousedských vztahů a znamenají krok směrem k objektově orientovaným klasifikacím.

V rámci této práce byla multispektrální data zpracovávána pomocí neřízené klasifikace s využitím nástrojů extenze Image Analysis pro ArcGIS a reklasifikací obrazu v rámci extenze Spatial Analyst pro ArcGIS. V porovnání se specializovanými programy poskytuje tento pouze základní nástroje zpracování, oproti tomu pracuje přímo v prostředí ArcMap, je uživatelsky nenáročný a intuitivní a poskytuje výsledky s dostatečnou přesností pro hydromorfologické mapování.

### 6.3 *Letecké snímky*

Letecké snímky jsou v současné době nejvhodnějšími obrazovými daty využitelnými pro potřeby mapování struktury krajinného krytu na území České republiky. Oproti satelitním snímkům mají jednak výhodu podrobného prostorového rozlišení a jednak disponují pokrytím celého území státu v několika časových horizontech zasahujících zpět až do poloviny 20. století. Kromě využití v metodách hodnocení krajiny umožňují tedy i sledovat změny v krajině v čase. Proces hodnocení byl do nedávné doby komplikován časovou náročností zpracování založeného především na vizuální interpretaci a manuální vektorizaci. S rozvojem metod analýzy obrazu však došlo k částečné automatizaci zpracování a možnosti aplikace postupů kalibrovaných a ověřených na malých územích i na plošně rozsáhlá území.

Při snímání zemského povrchu pouze ve třech kanálech viditelného spektra (RGB), používaných při klasickém leteckém snímání, je míra homogenity jednotlivých typů povrchů vlivem šumu způsobeného velmi vysokým prostorovým rozlišením snížena. Při použití tradičních statistických metod klasifikace je výsledný obraz narušen tzv. efektem „pepř a sůl“, proto jsou pro letecké snímky používány kontextuální objektové klasifikace obrazu, které pracují s polohou v rámci obrazu a zahrnují tvarové a texturní charakteristiky.

Základní jednotkou pro klasifikaci není pixel, ale skupina prostorově souvisejících pixelů. Tato skupina je vytvořena procesem segmentace obrazu, jejímž cílem je pospojovat pixely podobných vlastností do skupin. Metody segmentace mohou být buď konjunktivní (bottom-up), kdy jsou k malé homogenní skupině pixelů postupně přidávány další, dokud nejsou splněny klasifikační kriteria (homogenity, tvaru, textury), nebo disjunktivní (top-down), kdy je obraz postupně dělen na menší homogenní části, dokud opět nejsou naplněny klasifikační kriteria (Dobrovolný, 1998). Pomocí těchto metod je obraz rozdělen do segmentů, které mají

souvislost s objekty reálného světa a jednoznačně korespondují s objekty ve vstupním obrazu (Železný, 2005).

V současné době existuje jen několik specializovaných softwarových aplikací, které umožňují zpracování dat pomocí objektově orientovaných klasifikací pro potřeby GIS. Vedoucí pozici zaujímá software eCognition (Definiens). V programu eCognition je nejdříve na základě předem nastavených numerických prahových hodnot vytvořena segmentace obrazu. Dále následuje pomocí trénovacích ploch klasifikace segmentů do jednotlivých kategorií, při které je uplatňován princip logiky klasifikační neurčitosti (stupeň příslušnosti, fuzzy logic). Při precizní kalibraci prahových hodnot, koeficientu velikosti, kompaktnosti a hladkosti (smoothness) je možné detailně klasifikovat plošně rozsáhlá území, např. Storch (2009).

Jiným příkladem softwaru, s jehož pomocí lze docílit objektově orientované klasifikace obrazu je aplikace Feature Analyst, která pracuje jako rozšíření pro ArcGIS. Zpracování je založeno na filtrování obrazu, kdy filtrovací okno vyhledává v obraze homogenní segmenty, které odpovídají prahovým hodnotám definovaným pomocí trénovacích ploch. Klasifikace tedy probíhá zároveň se segmentací a během jednoho souboru iterací jsou v obraze vyhledány všechny plochy, které odpovídají daným podmínkám, respektive při vhodné volbě trénovacích ploch jedné kategorii krajinného krytu.

Dále je možné k aplikacím pracujícím na základě objektových klasifikací přiřadit např. program ENVI EX, nebo ERDAS IMAGINE Objective.

Primitivních segmentací je možné dosáhnout i poloautomaticky pomocí funkcí zpracování obrazu. Jde především o metody prostorového a radiometrického zvýraznění obrazu jako je filtrování obrazu, detekce hran, prahování histogramu a hustotní řezy. Těmito funkcemi úpravy obrazu disponuje např. extenze Image Analysis pro ArcGIS, mocných nástrojů zpracování rastru užívá i freewareová aplikace GRASS GIS. Dalšími metodami zpracování obrazu je např. algoritmus narůstání oblastí (region growing) a srovnávání se vzorem.

Pro potřeby této práce byla použita extenze Feature Analyst. Hlavním důvodem výběru byla uživatelská vstřícnost a jednoduchost, jejich přímé zabudování v programu ArcGIS a finanční dosažitelnost. Software eCognition zaujímá v současnosti přední pozici ve zpracování obrazových dat pomocí objektových klasifikací a poskytuje velmi dobré výsledky, zároveň je však určen spíše zkušeným uživatelům, kteří se dlouhodobě oblastí zpracování obrazových dat zabývají a vzdělávají se v ní.

Jedním z hlavních cílů této práce je definice metody ekohydrologického hodnocení, kterou je možné plošně aplikovat na velkých povodích. Důraz je proto kladen na jednoduchost a srozumitelnost jak metodickou, tak aplikační.

### **6.4 Faktory ovlivňující zpracování leteckých snímků**

V případě leteckých snímků neexistuje jednotný postup jejich zpracování. Charakter jednotlivých snímků výrazně ovlivňuje denní a roční doba snímání, výška Slunce nad



obzorem, orientace objektů v krajině a úhel snímání. Mezi hlavní faktory ovlivňující náročnost zpracování a přesnost výsledků patří následující:

- vržené stíny - výrazně komplikují jak samotný proces zpracování, tak i jeho časovou náročnost a přesnost. Na obrazových datech působí stíny jako homogenní objekty a bývají vymezeny buď samostatně (v případě stínů vržených budovami), nebo jako součást objektu, jímž byly vrženy (v případě stínů vržených stromy na okrajích lesa, nebo skupinkami vegetace). Na obr. 5 vrhají skupinky stromů na louku až 50 m dlouhé stíny, budovy u komunikace zastiňují silnici v celé její šíři.
- zrcadlící se plochy vodní hladiny – zrcadlící se plochy jsou funkcemi zpracování obrazu vymežovány samostatně. K zrcadlení dochází, když úhel dopadu slunečních paprsků na hladinu je stejný jako úhel odražených paprsků zachycených snímacím senzorem. Jde buď o větší „nevhodně“ orientované plochy, nebo o rozvlněné plochy vodní hladiny (větrem, za překážkou či v peřejích). Na obr. 5 je zřetelná jednak velká zrcadlící se plocha v toku Berounky a jednak drobné plochy zčeřené buď větrem, nebo za překážkami. V pravém horním rohu obrázku je patrné zrcadlení se vodní hladiny pod jezem.



Obr. č. 5: Vržené stíny za budovami a skupinami stromů v povodí Rolavy (1) a zrcadlící se plochy vodní hladiny toku Berounky (2)

- vegetační období, ve kterém je území snímáno – s rozvojem vegetace se zmenšují rozdíly mezi plochami s trvalým travním porostem a zemědělskými plochami. V podzimních měsících s poklesem aktivity fotosyntézy a změnou barvy listů stromů je možné na obrazových datech od sebe jednoduše odlišit listnaté a jehličnaté stromy. Z tohoto hlediska se jako nejvhodnější doba pro letecké snímání jeví babí léto.

## 7 Potřebná data, jejich aktuálnost a postup hodnocení

Hydromorfologické hodnocení vodních toků je tradičně založeno na terénním průzkumu. S rostoucím spektrem tematických vodohospodářských datových podkladů, prostorovým a časovým rozlišením obrazových dat dálkového průzkumu Země a možnostmi výpočetní techniky na jejich zpracování se zde otevřel prostor, který nabízí možnost hodnotit vodní toky v digitální podobě. Z hlediska detailnosti však výsledky „distančního mapování“ stále ještě není možné srovnávat s výsledky mapování terénního. Představená metoda si neklade za cíl terénní metody hodnocení nahradit. Cílem distančního mapování je klasifikace úseků vodních toků do kategorií v souladu s Rámcovou směrnicí o vodách (EC, 2000), tak aby bylo možné rozlišit vodní toky, které jsou v dobrém a velmi dobrém hydromorfologickém stavu a je třeba je chránit a na ty, které dobrého hydromorfologického stavu nedosáhly a je třeba v souladu se závazky ČR vůči legislativě EU jejich stav zlepšit.

Představená metoda je založena na hodnocení pouze takových parametrů, jejichž charakter je možné s dostatečnou přesností určit z distančních obrazových dat, tematických vrstev a mapových podkladů.

Distanční hodnocení vodních toků celé probíhalo v prostředí ArcGIS 9.3 a je rozděleno na dvě části – základní část a rozšiřující část. Základní část využívá pouze data, která jsou spravována veřejnými institucemi a jsou veřejně dostupná buď přes rozhraní ArcIMS serverů nebo jako webová mapová služba (WMS) přímo v prostředí ArcGIS, nebo volně ke stažení z webových stránek daných institucí. Rozšiřující část hodnocení využívá data komerční. Pro potřeby této práce byla zakoupena obrazová data – letecké a satelitní snímky a datové řady - průtoky. Letecké snímky celého území České republiky jsou sice k dispozici na geoportálu CENIA (české informační agentury životního prostředí), ale pouze v podobě pro prohlížení. Kromě vizuální interpretace je tedy není možné zpracovávat.

Zdrojem dat pro základní část hodnocení byly následující databáze a informační portály:

- A) DiBaVod (digitální báze vodohospodářských dat, [www.dibavod.cz](http://www.dibavod.cz)) – databáze vytvořená Oddělením geografických informačních systémů a kartografie Výzkumného ústavu vodohospodářského T.G.M. (dále jen VÚV T.G.M.). Z této databáze byly použity následující tematické vrstvy :
- A01 Vodní tok CEVT – vrstva použita jako základní linie zákresu toku a vektorový obraz jednotlivých hodnocených úseků, ke kterému se vztahuje databázová tabulka s hodnotami sledovaných parametrů. V případě, že zákres toku neodpovídal průběhu toku na obrazových datech (leteckých a satelitních snímcích), byla vektorová vrstva přizpůsobena obrazovým podkladům.
  - A04 Meliorační kanály – vrstva použita k identifikaci odvodněných oblastí.
  - A06 Bažina, močál – vrstva použita k identifikaci oblastí s retenčním potenciálem.

- D03 Záplavové území stoleté vody – vrstva použita k vymezení zóny záplavového území, ve kterém probíhalo hodnocení.
  - C09 – chráněná území přirozené akumulace vod (CHOPAV) – použita v rámci hodnocení odvodnění území
  - I01 zvm jezy – vrstva použita k lokalizaci příčných staveb v korytě toku, konkrétní údaje o objektu získány ze Základní vodohospodářské mapy.
- B) HEIS (hydroekologický informační systém) – databáze vytvořená rovněž VÚV T.G.M.. Do databáze je přístup přes mapové webové rozhraní, z této databáze byly použity následující informace:
- Odběry a vypouštění – informace o odběrech vody z vodních toků a vypouštění vod do vodních toků. Informace byly použity v rámci sledování ovlivnění odtoku. Data přístupná pouze v prohlížeč podobě přes webovém rozhraní.
- C) Základní vodohospodářská mapa (ZVM) 1:50 000 – v mapách jsou zobrazeny základní vodohospodářské údaje o vodních tocích, pro účely hodnocení vodních toků byly použity údaje o lokalizaci upravených úseků toků a výšce příčných staveb v korytě toku. Mapy je nutné georeferencovat.
- D) Geoportál ČÚZK (Český ústav zeměměřičský a katastrální) – službu je možné importovat pomocí ArcWMS serveru do prostředí ArcGIS, data jsou pouze v prohlížeč podobě. Z geoportálu byla použita následující data:
- Mapa bývalého pozemkového katastru – použita pro identifikaci změny charakteru průběhu toku krajinou. Pozemkový katastr byl zákonem stanoven v roce 1927 a byl platný až do roku 1956, zachycuje tedy stav z tohoto období.
- E) Geoportál CENIA - službu je možné importovat pomocí ArcIMS serveru do prostředí ArcGIS, data jsou pouze v prohlížeč podobě. Portál sloužil jako hlavní zdroj informací, použita byla následující data:
- Ortofoto 0,5 m (2005-2008) – letecké snímky území s rozlišením 0,5 m – sloužily jako hlavní zdroj informací. Na základě jejich vizuální interpretace byla hodnocena většina sledovaných parametrů (více viz metoda hodnocení).
  - Mapa II. Vojenské mapování – historické mapové podklady, použity k identifikaci změny charakteru průběhu toku krajinou. Mapování probíhalo v období 1836 – 1852.
  - Topografická mapa 1:25 000 – použita pro orientaci a identifikaci valů v údolní nivě jako překážek proudění
  - Mapa Corine – v případě nejednoznačnosti ortofotomapy byla použita k určení charakteru krajinného krytu
  - Mapa potenciální přirozené vegetace – použita při hodnocení využití záplavové zóny
  - Lokality akumulace povrchových vod – tematická vektorová vrstva, použita při hodnocení retenčního potenciálu
- F) Portál [www.kontaminace.cenia.cz](http://www.kontaminace.cenia.cz) – na tomto portálu je přes webové rozhraní publikována historická mapa ČR, která byla vytvořena na základě černobílých historických leteckých snímků z padesátých let 20. století. Tuto mapu je zde možné porovnat i s aktuální ortofotomapou ČR. Porovnání těchto dvou map bylo použito

v případech, kdy nebylo možné jednoznačně určit změnu charakteru průběhu toku krajinou na základě porovnání vektorové vrstvy toků a s historickými podklady.

- G) ArcGIS MapServer – poskytuje obrazová data pro celý svět, přístupné jako webová mapová služba

Obrazová data zpracovávaná v rámci rozšiřující části hodnocení budou charakterizována dále v kap. 10 vztahující se přímo k hodnocenému území.

Metoda hodnocení je v současné době založena na použití výše uvedených digitálních datových podkladů. Neustále jsou však digitalizována další, původně analogová data (např. výše zmíněná historická mapa ČR vytvořená v rámci projektu „Národní inventarizace kontaminovaných míst“), jsou vytvářeny nové tematické produkty na základě moderních metod (např. využití leteckého laserového skenování pro vodohospodářské účely, řešené na oddělení GIS a kartografie VÚV T.G.M.) a aktualizovány stávající mapové zdroje (např. aktualizace Základních vodohospodářských map 1:50 000 taktéž na VÚV T.G.M.).

Díky neustálému zveřejňování nových digitálních podkladů je možné metodu hodnocení obohacovat o nové prvky a tím i zvyšovat její přesnost, vypovídací hodnotu a měřítko hodnocení. Při definování dalších parametrů však musí být vždy na prvním místě již zmiňovaná jednoduchost a jednoznačnost hodnocení. Zároveň z hlediska použitelnosti metody v širším než českém prostoru je nutné brát v úvahu i rozdílnost národních databází.

Z těchto důvodů by bylo kontraproduktivní chápat metodu jako neměnnou a definitivní. Na níže představenou metodu je nutné nahlížet spíše jako na princip hodnocení, který je variabilní z hlediska použitých dat, charakteru parametrů a účelu hodnocení. Navržené parametry musí zohledňovat místní přírodní podmínky, typologii vodních toků a musí vycházet ze základní znalosti přirozených fluvialních procesů, které jsou pro ně typické. Při navrhování metody byla důležitým faktorem i její jednoduchost, proto si metoda neklade za cíl postihnout ve své definici široké spektrum přírodních podmínek, které by hodnocení samotné komplikovalo a mohlo by mít za následek i chybné rozhodnutí a tím zkreslení výsledků.

Hodnocení habitatu vodních toků je pro každý tok velice specifické. Je možné nastavit základní principy a parametry společné pro všechny toky a ty poté hodnotit, ale velká část hodnocení má velice variabilní charakter a je složité a zavádějící hledat pevné hranice a charakter parametrů. Toto tvrzení se opírá o řešerši dosavadních studií (uvedené v kap. 5), kdy v naprosté většině byla zpracována data, výsledky mapování kvantifikovány a poté přistoupeno ke kvalitativnímu ohodnocení zjištěných poznatků.

Cílem představené metody je efektivní a jednoznačné hodnocení hydromorfologického stavu vodních toků. Z hlediska jednoznačnosti byly definovány i možnosti hodnocení jednotlivých parametrů, které se mohou (v porovnání s jinými metodami) jevit jako příliš vágní. Je však nutné si uvědomit, že distanční data sama o sobě vnášejí do hodnocení jistou míru generalizace, kterou je vhodné zachovávat. Definování podrobného systému hodnocení by pak mohlo být zavádějící.

Podle Marcuse (2002) zjednodušení klasifikace významně redukuje chyby, které jsou způsobeny různým pohledem hodnotitelů. Odstranění nejednoznačností je zásadní pro určení přesnosti hodnocení – chyby způsobené subjektivním pohledem hodnotitelů jsou limitovány a zjištěné nepřesnosti je tak možné připsat na vrub pouze generalizaci způsobené použitím distančních datových podkladů.

## 8 Metoda distančního hodnocení QuaWaDis

Metoda QuaWaDis je založena na detekci antropogenního ovlivnění vodního toku a záplavové zóny. V rámci hodnocení je zjišťována přítomnost sledovaného prvku a jeho vliv na přirozené prostředí vodních toků. Oproti metodám terénního mapování není sledován charakter jednotlivých parametrů, ani míra antropogenního ovlivnění. Z toho důvodu nebylo použito pětistupňové bodové ohodnocení, které je typické pro terénní mapování, ale kladné, nulové, nebo záporné bodové hodnoty. Podle účelu hodnocení toků (např. z hlediska vlivu průběhu povodní, nadměrného vstupu živin do toků, kvality habitatu atd.) je pak možné některé parametry preferovat a vážit jejich bodová ohodnocení. Bodové hodnoty byly váženy i v případě, kdy charakter jednoznačně dokládá přirozené fluvialní procesy a stav okolí vodního toku, nebo je možné odlišit míru antropogenního ovlivnění. Princip hodnocení je následující:

- kladně byly hodnoceny takové prvky, které podmiňují a doprovázejí přirozený průběh toku krajinou, vytvářejí přirozená útočiště, snižují a zachycují případné negativní vlivy okolí a v případě povodňových stavů jsou schopné zachytit a pozdržet vodu v krajině.
- záporné hodnoty byly prisuzovány takovému kvalitativnímu stavu parametrů, kde bylo zřetelné negativní antropogenní ovlivnění přirozeného prostředí vodních toků a v případě vysokých vodních stavů faktory urychlující průběh povodňové vlny krajinou a podmiňující škody na majetku.
- nulová hodnota byla přiřazena v případě, kdy zjištěné podmínky vodního toku a jeho okolí nemají prokazatelný pozitivní, nebo negativní vliv, nebo nebylo možné charakter jednoznačně určit (např. parametry eroze a akumulace v případě výrazného zastínění úzkých toků), nebo v případech kdy byly v minulosti antropogenně ovlivněny a v porovnání s historickými podklady si svůj charakter ponechaly.

Distanční metoda byla navržena pro hodnocení takových toků, u kterých je možné jednoznačně hodnotit jejich charakter na podkladu obrazových dat. Hodnocení toků je tedy limitováno prostorovým rozlišením obrazových dat a z hlediska zakrytí toků okolní vegetací i šířkou toků. Distanční metodou jsou tedy hodnoceny především středně velké a velké vodní toky. V podmínkách ČR je na takové toky často vázána lidská činnost a proto jejich návrat do přírodního, nebo přírodě blízkého stavu je problematický. S ohledem na to byly definovány i parametry hodnocení.

### 8.1 Referenční stav

Pro parametry, které jsou hodnoceny na podkladu tematických map, tedy tam kde je pouze sledována přítomnost zákresu nebylo nutné referenční stav definovat. Nezbytná je definice parametrů, které sledují přirozené fluvialní procesy v korytu, tedy parametry hodnotící variabilitu šířek a hloubek, přítomnost a vývoj akumulčních tvarů a přítomnost břehové eroze.

RSV definuje velmi dobrý stav z hlediska hydromorfologie následovně: „Velikost a dynamika proudění a z toho plynoucí souvislosti s podzemními vodami plně nebo téměř plně odpovídají nenarušeným podmínkám. Kontinuita toku není narušena antropogenními činnostmi a umožňuje nerušenou migraci vodních organismů i transport sedimentů. Uspořádání říčního koryta, proměnlivost jeho šířky a hloubky, rychlost proudění, vlastnosti substrátu a jak struktura, tak vlastnosti příbřežních zón zcela nebo téměř odpovídají nenarušeným podmínkám.“ (EC, 2000).

Referenční stav pro tyto parametry je nutné definovat v rámci jednotlivých typů vodních toků (dle Langhammer a kol., 2009). V současné době je řešen projekt Státního fondu životního prostředí (SFŽP), v jehož rámci budou referenční stavy definovány (Matoušková a kol, 2013).

### 8.2 Vymezení hodnocených zón

Hodnocení probíhá ve dvou zónách – hodnotí se parametry v ***zóně koryta*** a v tzv. ***zázemí toku***. Zóna koryta vodního toku zahrnuje část aquatickou a část břehovou. Aquatická část je na obrazových datech vymezena zobrazením vodní hladiny. V rámci tohoto vymezení jsou v korytě hodnoceny parametry popisující fluvialní procesy a to jak přirozené, tak antropogenně podmíněné. Hodnoceny jsou projevy eroze a akumulace, přirozené stupně v korytu toku a variabilita šířky vodního prostředí. Tato zóna bývá často v případě úzkých vodních toků zcela zastíněna břehovou vegetací a nelze ji hodnotit. Kromě výše uvedených parametrů je v rámci aquatické části zóny koryta vodního toku hodnocena upravenost toku, zahloubení toku a příčné stavby v korytě. Tyto parametry jsou hodnoceny na podkladě ZVM a topografických map, zastínění toku tedy hodnocení neovlivňuje.

Břehová část navazuje na část aquatickou a od záplavové zóny je oddělena horní hranicí břehů. Na obrazových datech tato linie nemusí být vždy jednoznačně zřetelná. Vymezení břehové části bylo určeno na základě vizuální interpretace obrazových dat. Linie je zřetelná převážně pouze v případech, kdy na břehy navazují hospodářské nebo zastavěné plochy. V úsecích, kde jsou břehy zatravněny přirozenými travinami, které pak v zázemí toku přechází v přirozené louky, nebo jsou břehy i zázemí toku porostlé skupinovou vegetací či lesem, je linie vymezení břehů v podstatě nezřetelná. Uvedené příklady jsou zobrazeny na obr. 6. V rámci břehů je sledován pouze parametr hodnotící charakter vegetace, vymezení břehů je tedy nezbytné pouze v případě, kdy je charakter vegetace břehů a charakter vegetace záplavového území rozdílný.





Obr. č. 6.: Příklady odlišnosti břehů vůči záplavové zóně - zatravnění upravených toků od polí (1. vlevo nahoře a 2. vpravo nahoře), stromové patro na březích toků (1. vpravo dole), přirozená louka na březích i v záplavové zóně (1. vpravo dole) a zatravnění v obci (2). Blanice v okolí obce Protivín.

Zázemí toku je sjednocením záplavové zóny a rozsahu doprovodných vegetačních pásů (DVP). Záplavová zóna byla vymezena pomocí tematické vektorové vrstvy z databáze DiBaVod zobrazující hranici rozlivu stoleté vody. Okolí vodního toku je tradičně hodnoceno v rámci území ohraničeného buď stanovenou metrickou vzdáleností od toku, nebo je hledána hranice údolní nivy. Oba tyto přístupy mají své nevýhody. Metrické stanovení vzdálenosti nerespektuje okolní reliéf a výškové poměry, vymezení údolní nivy je samo o sobě komplikované a předmětem řady vědeckých prací, které se zabývají vymezením nivy z hlediska pedologického (Zádorová, T., Chuman, T., Šefrna, L., 2008), biogeografického (Chuman, 2008), nebo geomorfologického (Hartvich, F., Jedlička, J., 2008).

Vymezení na základě záplavového území ohraničuje oblast kolem vodního toku s úzkým kontaktem na něj, a to jak z hlediska ovlivnění vodního toku svým okolím, tak i z hlediska opačného – vlivu vodního toku na své okolí, především v období vysokých vodních stavů (v tomto případě stoletých). Toto vymezení zároveň zohledňuje reliéf toku. V záplavové zóně jsou hodnoceny parametry sledující přítomnost doprovodných vegetačních pásů a jejich charakter, využití území záplavové zóny, překážky proudění a retenční potenciál.

Kromě parametrů sledovaných v rámci uvedených zón, obsahuje metoda i parametry hodnotící tzv. obecný charakter a vlastnosti vodních toků. Jde o parametry, které nejsou jednoznačně lokalizovatelné, a jejich přiřazení k jedné ze zón by mohlo být zavádějící. V této kategorii je sledováno ovlivnění odtoku, odvodnění okolních ploch a změna charakteru průběhu toku krajiny.

### 8.3 Průběh hodnocení

Hodnocení probíhá nad obrazem leteckých snímků v prostředí ArcGIS v databázové tabulce třídy prvků (*feature class*) pracující v rámci souborové geodatabáze. Pro jednotlivé parametry jsou v databázové tabulce (\*.dbf) pomocí správy domén definovány formou roletového menu možnosti slovního hodnocení, které je propojeno na odpovídající bodové ohodnocení. Definice roletového menu byla využita především z důvodu usnadnění hodnocení, časové úspory a jako prevence před nejednoznačným a zavádějícím hodnocením. Celkové bodové ohodnocení je automaticky počítáno zároveň s procesem hodnocení.

Každý mapovaný úsek je jednoznačně označen pomocí třípísmenného kódu a čísla pořadí úseku od ústí po pramen. Zároveň je pro každý úsek automaticky počítána jeho délka.

Pro každý úsek jsou kladné i záporné body za všechny parametry sečteny, bodové hodnoty spadají do intervalu <-27; 18> bodů, přičemž tento interval je proměnný vzhledem k počtu hodnocených parametrů (např. doplnění dalších parametrů atd.). Bodové hranice pro zařazení úseků do výsledného hydromorfologického stupně jsou uvedeny v tabulce 2. Slovní hodnocení a barevné označení vychází z terminologie Rámcové směrnice o vodách.

Tab. č. 2: Bodové hranice pro výsledné zařazení úseků toků a systém jejich označení

ekologický stav úseků toku	označení	bodové rozpětí	barevné označení
velmi dobrý	I. ES	<10; 18>	modrá
dobrý	II. ES	<0; 9>	zelená
střední	III. ES	<-9. -1>	žlutá
poškozeny	IV. ES	<-18; -10>	oranžová
zničený	V. ES	<-27; -18>	červená

Kromě pětisupňové klasifikace ekologického stavu dělí RSV úseky toků na ty, které dosáhly dobrého ekologického stavu (a je třeba je chránit) a na ty, které dobrého stavu nedosáhly (a je třeba jejich stav zlepšit). Jako hranice mezi těmito dvěma skupinami byla s ohledem na princip hodnocení zvolena nulová hodnota.

Hodnocení probíhá v délkově heterogenních úsecích, přičemž rozhodovacím kritériem pro vymezení dalšího úseku je kvalitativní změna alespoň jednoho z následujících parametrů (parametry, které se nemění kontinuálně, ale skokově) – charakter průběhu toku krajinou, úpravy toku, charakter vegetace břehů, přítomnost DVP, charakter DVP a využití záplavového území. Minimální délka pro vymezení úseku z hlediska změny podmínek vlivem člověka nebyla stanovena, v případě změny přírodních podmínek byla dodržována hranice 100 m.



Při definování jednotlivých parametrů byl kladen důraz především na jednoznačnost a jednoduchost metody. Důvodem k definování jednoznačných parametrů byl fakt, že hodnocení je založeno na interpretaci obrazových dat, což už samo o sobě přináší jistou míru generalizace, která je tudíž očekávatelná od následných výsledků zpracování. Detailní hodnocení na základě generalizovaných dat by mohlo být zavádějící a poskytovat zkreslené výsledky. Míru detailnosti zpracování je možné ovlivnit časovým a prostorovým rozlišením podkladových dat.

Z hlediska požadavků RSV metoda nehodnotí všechny uvedené parametry – není zde řešeno propojení na podzemní vody a substrát dna. Variabilita hloubek a struktura dna je hodnocena nepřímo v rámci sledování přirozených akumulacích a erozních procesů, nebo na podkladu zpracování satelitních snímků.

## 8.4 Základní část hodnocení

V základní části hodnocení jsou použity pouze volně přístupné datové podklady, které jsou popsány v předchozí kapitole 7. Na základě volně přístupných dat je možné hodnotit parametry popsané v následujícím textu.

### 8.4.1 Upravenost toků

Prvním krokem hodnocení je rozdělení vektorové linie na úseky, které nebyly podle základních vodohospodářských map upraveny a na úseky upravené. Bodové ohodnocení je uvedeno v následující tabulce 3. Hodnocení je zapsáno do databázové tabulky, při následném dělení úseků zapsané informace v tabulce zůstávají a jsou platné pro všechny dílčí úseky původního úseku. Dělení na upravené a neupravené úseky má zásadní vliv na hodnocení parametrů hodnotících změnu charakteru průběhu toku krajinou a zahlobení toku.

Tab.č. 3: Parametr hodnocení upravenosti vodních toků

1.1	upravenost vodních toků (podle ZVM)	Ano	-1 b.
		Ne	0 b.

Oproti terénnímu mapování se nesleduje materiál použitý na úpravu toku. V případě detailnějšího hodnocení je možné použít materiály od správce toku. Většinou se jedná o základní mapu 1:10 000 v analogové podobě (viz obr. 6), do kterých byl správcem toku ručně vyznačen upravený úsek s kódovým odkazem na textové materiály. V textových materiálech je pak popsán charakter úpravy, použitý materiál a rok úpravy. Kvalita těchto materiálů se může lišit v závislosti na správci toku.



Obr.č. 6: Ukázka základních map 1:10 000 se zákresem odvodňených ploch a upravených úseků na toku Staré Klejnárky při ústí do Klejnárky. V mapě jsou zapsány číselné kódy s odkazem na textové materiály správce toku. Zdroj: nepublikované materiály ZVHS, pořízeno pro potřeby projektu VaV MŠMT Kačina

Na obr. 6 je zobrazen výřez ze základní mapy s ručním zákresem upravených úseků a odvodňených ploch a číselným odkazem na textové materiály správce toku. Metrické údaje získané vektorizací těchto map je nutné brát pouze jako orientační a lokalizační, přesnost hodnocení je ovlivněna nepřesností ručního zákresu a deformací analogových mapových podkladů, která znemožňuje přesnou georeferenci (Bicanová, 2009).

Upravené toky často ztrácejí svůj přirozený charakter, jsou změněny podmínky a úkryty pro vodní organismy a v případě opevnění břehů a dna je narušeno napojení vodních stavů na hladinu podzemní vody.

#### 8.4.2 Změna charakteru průběhu toku krajinou

Přirozené nebo přírodě blízké vodní toky se mohou v krajině vyskytovat v různé formě a podobě od přímých úseků toků přes meandrující až po divočící v závislosti na reliéfu, litologii podloží, odtokových podmínkách atd. Z obrazových dat nemusí být vždy zcela jednoduché jednoznačně určit, jaký charakter toku je pro danou oblast a konkrétní úsek toku přirozený. Z toho důvodu je charakter průběhu toků krajinou hodnocen vzhledem k historickým podkladům.

Hodnocení vychází z předpokladu, že v době II. vojenského mapování (1836 – 1852) nebyly vodní toky ještě ve velké míře upraveny. Podle Němce a Hladného (Němec, Hladný, 2006) bylo k větším technickým úpravám vodních koridorů přistoupeno až ke konci 19. století s rozvojem nových technických možností. Do té doby měly úpravy spíše lokální charakter za účelem využití vodní síly pro pohon mlýnů a pil, dopravě dřeva, nebo napájení rybníčních soustav.

Pro porovnání je tedy brán jako referenční stav charakteru průběhu toku krajinou jejich stav zachycený na mapách II. VM, a v porovnání s ním je hodnocena změna a odlišnost současného stavu. Je pravděpodobné, že některé toky byly upraveny již dříve a na mapách II. VM je tedy zachycen již jejich změněný charakter. Pokud ale tyto toky nejsou zobrazeny v ZVM jako upravené (a pravděpodobně tedy jejich dno a břehy nebyly zpevněny), je možné na ně nahlížet jako na toky, které měly dostatečný prostor pro svůj vývoj a vytvoření si přirozených podmínek a brát jejich stav za přírodě blízký, nebo se směrem k přírodě blízkému stavu vyvíjející.

Znakem v minulosti upravených toků může být např. změna polohy koryta v krajině, zákres slepých a opuštěných ramen, nebo jejich vegetačních doprovodů v nivě toku.

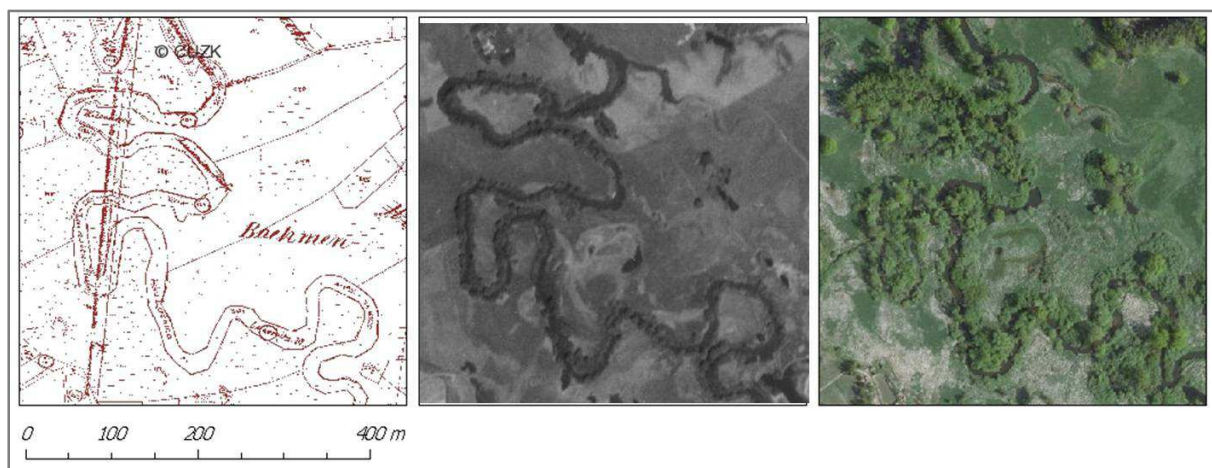
Změna charakteru průběhu trasy toku krajinou se určuje v prostředí ArcGIS pomocí komunikace s ArcIMS serverem geoportálu Cenie (zdroj leteckých snímků a map II. VM). Pro drobné toky, které na mapách II. VM nejsou dostatečně zřetelné, je vhodnější použít porovnání s mapami bývalého Pozemkového katastru přístupných jako webová mapová služba serveru ČÚZK (Český ústav zeměměřičský a katastrální) přímo v prostředí ArcGIS. Doplnkově je možné použít historickou leteckou mapu ČR přístupnou pouze přes webové rozhraní [kontaminace.cenia.cz](http://kontaminace.cenia.cz). Charakter současného průběhu toku krajinou je posuzován buď na podkladu tematické vektorové vrstvy pro vodní toky, nebo obrazových dat (leteckých, nebo satelitních snímků).

Tabulka 4. obsahuje výčet možného hodnocení sledovaného parametru. Komentáře k jednotlivým možnostem a grafické příklady jsou podány níže. Hodnocení se neopírá o kvantitativní metrické porovnání délky bývalého a současného průběhu toku krajinou, ale o kvalitativní změnu celkového chování toku v širším kontextu s využitím nadhledu, který obrazová data dálkového snímání Země umožňují.

Tab. č. 4: Parametr hodnocení změny průběhu toku krajinou

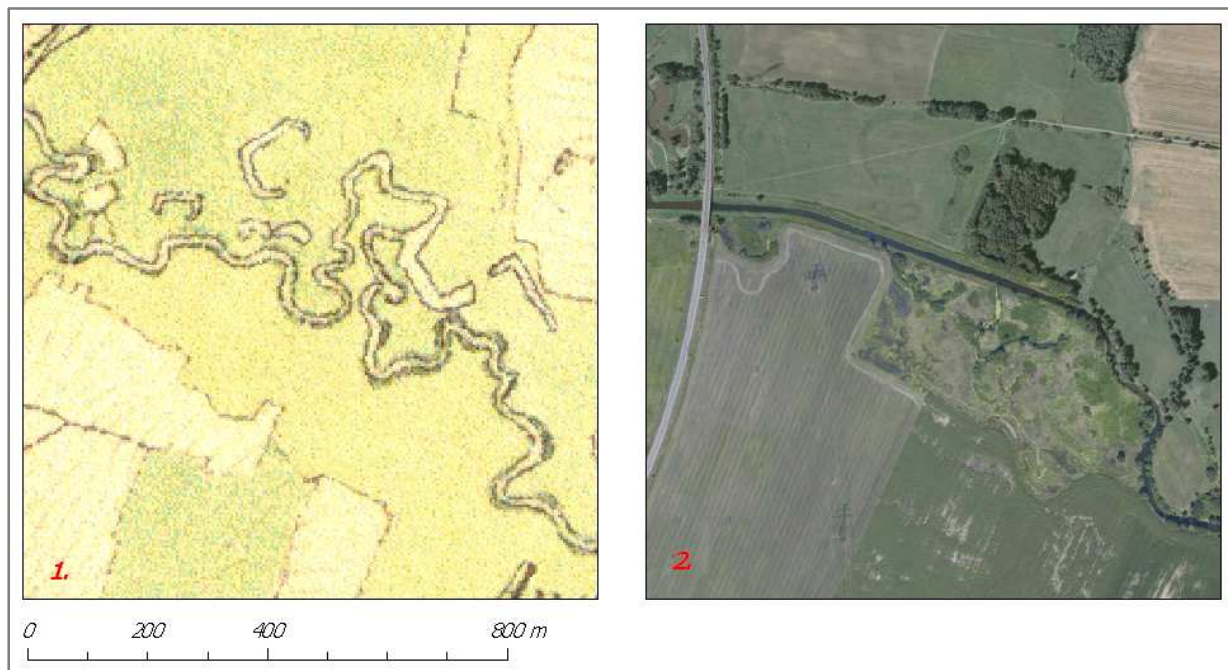
1.2	změna charakteru průběhu toku	přirozený, charakter odpovídá historickým podkladům	1b.
		upravený, odpovídá historickým podkladům	0 b.
		antropogenní narovnání a zkrácení toku	-1 b.
		antropogenní zkrácení a změna trasy toku	-2 b.

Kladně jsou zde hodnoceny úseky toků, které si zachovaly stejný charakter jako na historických mapových podkladech. Na následujícím obrázku 7. je zachycen charakter toku Lužnice v blízkosti obce Dvory nad Lužnicí. Při porovnání současného stavu s historickými materiály došlo ke zkrácení toku, ale zároveň si tok zachoval svůj charakter a zkrácení je možné označit za přirozený vývoj koryta toku. Z toho důvodu není tento parametr hodnocen exaktně kvantitativně, ale sledován je v první řadě jeho kvalitativní charakter.



Obr. č. 7: Příklad přirozeného zkrácení toku Lužnice poblíž obce Dvory nad Lužnicí na mapách bývalého pozemkového katastru, historické letecké mapě (snímek z roku 1952) a současném leteckém snímku

Jedním z nejčastějších důvodů pro úpravy vodních toků bylo hospodářské využití území. Vodní toky byly napřimovány a místy byla zcela změněna trasa jejich průchodu krajinou. Na následujícím obr. 8 je zobrazen tok Blanice v blízkosti obce Myšenec. Na mapách II. VM má koryto toku ještě zcela přirozený charakter, vytváří členité zákruty a meandry, jsou zde zakreslena slepá ramena a opuštěné říční meandry. Na leteckém snímku je zobrazeno totéž území, ale charakter průběhu toku krajinou je zcela odlišný. Vodní tok byl zkrácen, některá mrtvá ramena ponechána, jiná zcela vysušena a v současné době je jejich plocha hospodářsky využívána (nicméně i tak jsou v krajině stále zřetelné, viz obr. 8). Vodní tok si však v širším kontextu zachoval svoji polohu v území a směr. Došlo tedy pouze ke zkrácení a narovnání toku (propojení šíje meandrů), ne k přeložení a vytvoření nového koryta.



Obr. č. 8: Zkrácení toku Blanice v blízkosti obce Myšenec. Porovnání map II. VM (1) se současným stavem (2) na leteckém snímku. Kromě výrazného zkrácení vodního toku je v horní části snímku (na leteckém snímku na



louce) stále zřetelná část bývalého meandru Blanice (na mapách II. VM již zakreslen jako opuštěné rameno bez kontaktu na vodní tok).

Na následujícím obrázku 9. je zobrazena změna trasy toku a jeho napřímení. Oproti mapám II. VM došlo ve sledovaném úseku k absolutnímu přeložení trasy toku a vytvoření nového koryta. Na leteckém snímku je díky vegetačním doprovodům patrná původní trasa toku. Z obrazových dat je patrné oddělení původního koryta od současného pomocí příčných staveb v korytě, objekty jsou zobrazeny i na ZVM. Na historické mapě ČR (zde nezobrazena) je původní koryto zcela odděleno od nového bez zřetelného povrchového napojení.

V případě změny trasy toku je vytvořeno zcela nové koryto v místech, kudy by se tok sám pravděpodobně nevyvíjel. V případě zkrácení a napřímení toků jde o propojení vrcholů zákrut a meandrů, ale tok svou pozici v krajině zásadně nezmění. Antropogenní změna trasy toku je ve většině případů spojena i s napřímením a zkrácením toků.



Obr.č. 9: Příklad změny trasy toku Blanice nad obcí Putim. Původní charakter zachycený na mapách II. VM (1) a současný stav na leteckém snímku (2)

Charakter průběhu toku krajinou má zásadní vliv na vývoj přirozeného stavu habitatu organismů vázaných na vodní toky a na průchod povodní. Napřímené a zkrácené úseky odvádějí rychleji vodu z území, zvyšuje se spád toku a zrychluje proudění, snižuje retence vody v krajině a narušuje přirozený stav a objem vody v půdě. Oproti tomu přirozený charakter průběhu toku krajinou poskytuje habitat pro organismy typické pro dané prostředí a v případě toků, které díky přírodním podmínkám vytvářejí meandry a zákruty dochází k delšímu zdržení většího objemu vody v krajině.

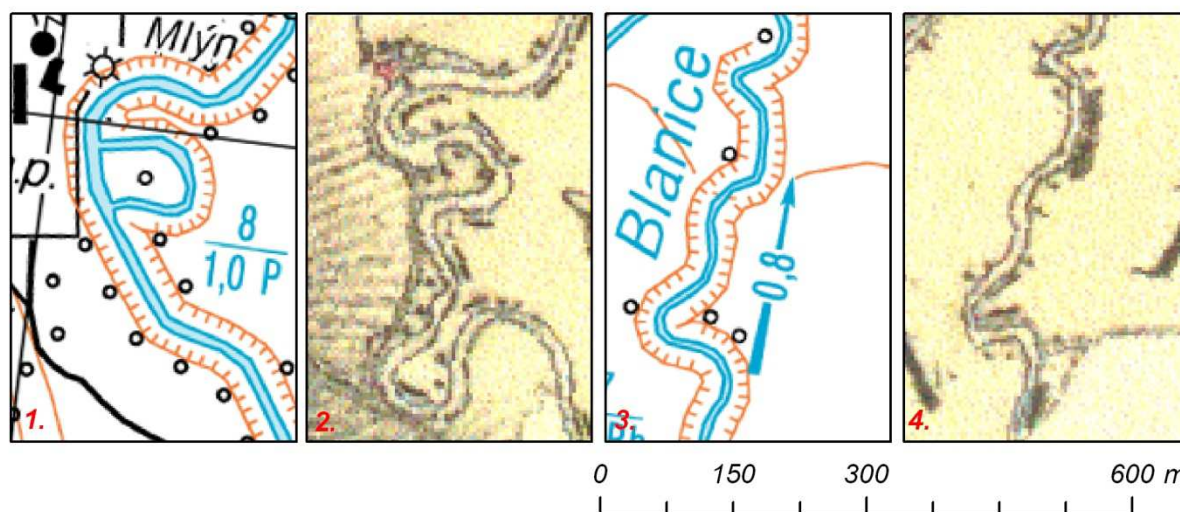
### 8.4.3 Zahloubení koryta vodního toku

Parametr zahloubení toků je hodnocen na podkladu Topografické mapy AČR 1:25 000 (dále jen TM), ve které jsou zakresleny zářezy. Podle slovníku Výzkumného ústavu geodetického,

topografického a kartografického (VÚGTK, online) je zářez definován následovně: „výrazný vhloubený protáhlý tvar vzniklý přirozeně nebo uměle, u kterého se úbočí stýkají v terénní hraně“. Jako zahloubený je brán úsek toku, podél kterého je na alespoň jednom břehu zakreslen zářez a který se zároveň nenachází v úzkém a hlubokém údolí.

Zároveň je v rámci hodnocení zahloubení vodního toku nutné zvážit, zda zakreslené zahloubení je z hlediska hydromorfologie významné. V případě, že sledovaný úsek toku byl v minulosti upraven a v TM je podél něj zakreslen zářez, je tento úsek toku vždy označen jako zahloubený. V případě, že hodnocený úsek toku upraven nebyl je rozhodnutí, zda zakreslený zářez signalizuje zahloubení toku, závislé na změně charakteru průběhu toku krajinou. V případě identifikované změny, je úsek označen jako zahlouben, v případě kdy změna identifikována nebyla úsek jako zahloubený označen není.

Na obr. 10.1 je zobrazen zákres zářezu podél neupraveného úseku toku, který spolu s porovnáním s historickými podklady (10.2) identifikuje pravděpodobný antropogenní zásah do koryta toku a zahloubení toku je pravděpodobně významné. Na obr. 10.3 je zobrazen příklad zákresu zářezu podél neupraveného úseku toku, v porovnání s historickými podklady (10.4) se však charakter průběhu toku krajinou nezměnil. Z obrazových dat není významný antropogenní zásah do koryta toku prokazatelný, z toho důvodu tento úsek toku nebyl označen jako zahloubený. Významné zahloubení koryta toku nebylo identifikováno ani během kontrolního terénního mapování.



Obr. č. 10: Příklady zákresu zářezu podél toku Blanice u obce Blanice zakreslené na Topografické mapě AČR 1:25 000 (1, 3) a na mapách II. VM (2,4)

Takto definované zahloubené úseky toků mohly být zahloubeny buď v rámci odvodňování hospodářských pozemků, nebo nadměrným projevem hloubkové eroze. V rámci hydromorfologie je zahloubení toků obecně chápáno jako negativní projev. Vodní hladina zahloubených toků je často na nižší úrovni než hladina toků nezahloubených, a to může na okolních pozemcích vést k poklesu hladiny podzemní vody. Hodnocení parametru je zapsáno v následující tabulce 5.

Tab. č. 5: Hodnocení parametru zahloubení vodního toku

1.3	Zahloubení toku	bez zahloubení	0 b.
		tok zahlouben	-1 b.

#### 8.4.4 Úpravy podélného profilu

Parametr hodnotící úpravy podélného profilu sleduje na podkladě ZVM a tematické vektorové vrstvy „I01 zvm jezy“ přítomnost příčných staveb v korytě toku. Ve vodohospodářských mapách je ke každému objektu uvedena jeho výška a šířka, ve vektorové vrstvě informace o rozměrech uvedeny nejsou. Vektorová vrstva je aktualizací stávajících vodohospodářských map a pravděpodobně bude zobrazena v jejich nové verzi, která je v současné době v tisku. Návrh hodnocení parametru je předložen v následující tabulce 6.

Tab. č. 6: Parametr hodnocení úprav podélného profilu

1.4	Příčné stavby v korytě	bez úprav	0 b.
		stupeň do 30 cm výšky	0 b.
		stupeň nad 30 cm výšky	-1 b.
		více stupňů (součet výšek všech stupňů nad 60 cm)	-2 b.

Lokalizace příčných staveb v korytu toku narušuje kontinuitu toku z hlediska jeho prostupnosti pro vodní organismy a ovlivňuje přirozenou dynamiku proudění. Do budoucna je možné hodnocení parametru rozšířit na sledování stupňů s rybími přechody. Tato tematická vektorová vrstva je na seznamu vytvářených podkladů v rámci databáze DiBaVod. V současné době bohužel není k dispozici.

#### 8.4.5 Projevy eroze a přítomnost přirozených fluvialně-morfologických tvarů v korytě toku

Eroze a akumulace v korytu toku jsou přirozeným projevem a jedním ze základních fluvialních procesů. Antropogenními zásahy mohou být tyto procesy zpomaleny nebo urychleny nad úroveň, která je pro daný tok přirozená. Hledání této hranice je problematické a to nejen na podkladu analýzy a interpretace obrazových dat. Z toho důvodu je hodnocení těchto parametru cíleno spíše na identifikaci příčin, které projevy eroze a akumulace v korytu iniciovaly. Jde o procesy, které mají na sebe úzkou vazbu, a hodnocení na základě interpretace obrazových dat probíhá současně, budou parametry hodnotící projevy eroze i akumulace popsány současně. Parametry je možné hodnotit pouze v případě, kdy koryto toku není zastíněno.

Hodnocení je založeno na vizuální interpretaci obrazových dat, nebo na klasifikaci obrazu. Hodnocení probíhá pouze v úzkém pásu, který zahrnuje zónu koryta toku a jeho nejbližší okolí. Pás je možné vymezit pomocí bufferu (dostatečné v rozmezí 5-10 m od břehu toku, vždy nezbytné konfrontovat s daty) podél vektorové linie toku, nebo vektorové břehové linie (data z databáze DiBaVod). Další možností je vytvoření vlastní vektorové vrstvy pro vodní tok pomocí klasifikace obrazu, která přesně zobrazuje aktuální průběh toku krajiny. Před vlastní klasifikací je však nutné zvážit efektivitu takového kroku, neboť klasifikace samotná může být časově náročná s výsledkem někdy zanedbatelného zpřesnění dat. V případě výrazného zastínění vodní hladiny pak některé úseky nemusí být detekovány.

Detekovány jsou povrchy bez vegetace, z nichž jsou následně odstraněny ty, které s největší pravděpodobností vznikly přímou činností člověka. Ostatní objekty jsou dále rozděleny do dvou tříd podle pravděpodobného vzniku na erozní a akumulační.

V následujících tabulkách č. 7 a č. 8 je podán výčet možných hodnocení projevů eroze a přirozených tvarů v korytě s uvedenou bodovou hodnotou, jejich podoba na obrazových datech je zobrazena na obr. č. 15. Z obrazových dat je možné získat pouze informace o boční erozi, hloubková eroze z nich zřetelná není. Projevy eroze a akumulace je nutné hodnotit vzhledem k referenčnímu stavu pro daný typ vodního toku.

Tab. č. 7: Parametr hodnocení projevu eroze v korytě toku

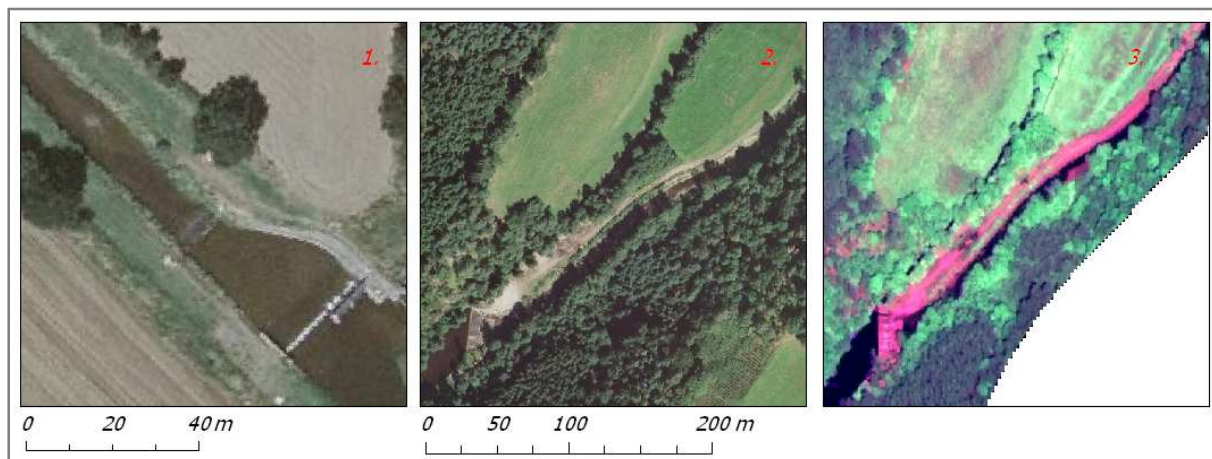
1.5	projevy eroze	stabilní koryto bez projevu eroze	1 b.
		eroze vázaná na antropogenní stavby v korytě toku	-2 b.
		Bez eroze z důvodu antropogenních úprav břehů	-2 b.
		přirozený výskyt	1 b.
		liniová eroze břehů	-1 b.
		bodová eroze (nátrže)	-1 b.
		na základě dat není možné určit	0 b.

Tab. č. 8: Parametr hodnocení přítomnosti přirozených tvarů v korytě

1.6	Přítomnost přirozených tvarů v korytě toku	bez výskytu (antropogenně ovlivněno)	-1 b.
		osamocený výskyt	1 b.
		přirozený výskyt	2 b.
		na základě dat není možné určit	0 b.

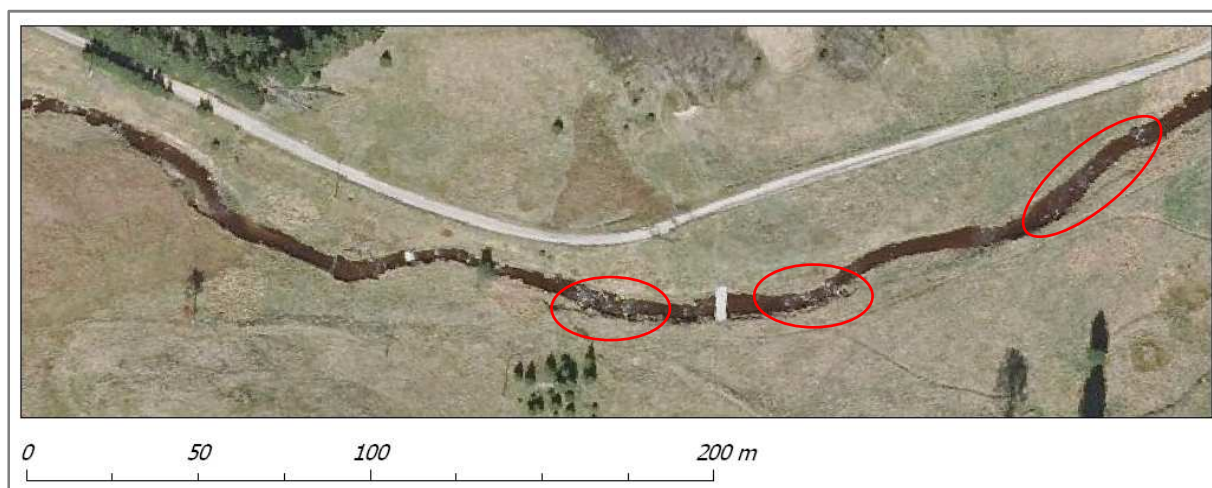


Negativně jsou hodnoceny tvary vázané na antropogenní objekty v korytě toku. Příklady takovýchto tvarů jsou zobrazeny na následujícím obrázku č. 11. Na prvním obrázku (1) je zobrazena akumulční lavice, která pravděpodobně vznikla změnou unášecí schopnosti toku pod jezem. Na leteckém snímku (2) a na satelitním snímku (3) je zobrazen projev liniové eroze břehů pod jezem. Z porovnání těchto dvou obrázků je zřejmý výrazně vyšší interpretační potenciál satelitních snímků z hlediska detekce akumulčních a erozních tvarů.



Obr.č. 11: Tvary vázané na antropogenní objekty v korytě toku, obrázky 2 a 3 mají odlišné měřítko od obrázku 1. Blanice u obce Putim (1) a Kratušín (2) a (3). Letecké snímky byly pořízeny v roce 2008, satelitní snímek z družice QuickBird byl nasnímán 15.7.2007

V rámci hodnocení přirozených tvarů v korytě je kromě přítomnosti akumulčních tvarů sledována i přítomnost přirozených stupňů. Jejich detekce je založena na zrcadlení se zčeřené hladiny. Z toho důvodu je jejich detekce možná pouze v nezastíněných úsecích. Na obr.č. 12 je zobrazen úsek toku Rolavy u obce Chaloupky, na kterém je zřejmé zrcadlení hladiny a je tedy možné usuzovat, že se v úseku nachází stupně v podélném profilu.



Obr. č. 12: Projevy stupňů v korytě je možné na leteckém snímku detekovat na základě zčeření a zrcadlení hladiny. Rolava v blízkosti obce Chaloupky

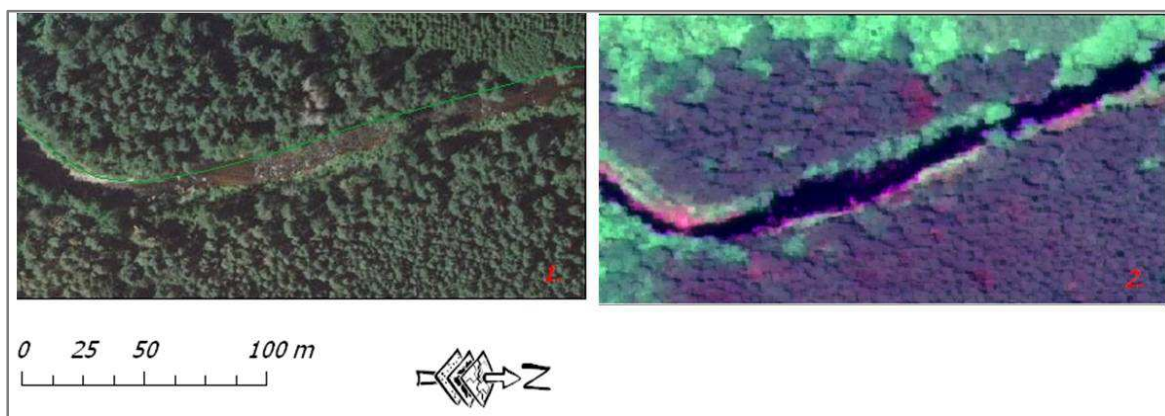
Možnost ověření správně detekovaných přirozených stupňů v korytě nabízí průlet nad sledovaným úsekem pomocí aplikace Google Earth. Ten umožňuje pohled na krajinu i

z jiného úhlu, než z nadhlavníku. Na následujícím obrázku č. 13 je zobrazen úsek toku Rolavy u obce Chaloupky. Šikmý pohled na tok potvrdil existenci přirozených stupňů v korytě, zároveň však detekoval umělý stupeň, který není evidován ve vektorové tematické vrstvě z databáze DiBaVod „jezy\_zvm“.



Obr. č. 13: Ověření detekce přirozených stupňů v korytě pomocí šikmého pohledu na tok z aplikace Google Earth. Vlevo tok Rolavy u obce Chaloupky, červeně označen umělý stupeň v korytě, který není evidován v databázi DiBaVod, vpravo tok Blanice před ústím do v.n. Husinec

Oproti detekci erozních a akumulčních tvarů mají v případě přirozených stupňů v korytě vyšší interpretační potenciál letecké snímky. Na následujícím obr. č. 14 je zobrazen stejný úsek toku Blanice u obce Kratušín na leteckých (1) a satelitních (2) snímcích. Na výřezu leteckého snímku je možné detekovat zčeření a zrcadlení hladiny, které na satelitním snímku zřetelné není. Drobné objekty v korytě toku na satelitním snímku je možné přisoudit spíše balvanům a jiným objektům zasahujícím nad hladinu.



Obr. č. 14: Porovnání interpretačního potenciálu leteckých a satelitních snímků.

V případě leteckých snímků je časté zastínění sledovaných objektů vrženým stínem a tím je znemožněno jejich hodnocení. Družice QuickBird je naprogramována tak, aby nad snímaným územím proletěla v 10:00 dopoledne místního času. Zájmového území bylo nasnímáno 15.7.2007, tedy v období kdy je Slunce vysoko nad obzorem a vržené stíny jsou tudíž krátké. Z toho důvodu je pro území Blanice na základě uvedených skutečností vhodnější hodnocení akumulčních a erozních tvarů na podkladu satelitních snímků.

Na následujícím obrázku č. 15 je zobrazen úsek toku Blanice u obce Záblatí na leteckém (1) a satelitním (2) snímku. V satelitním snímku byly barevně označeny projevy eroze a akumulace s následujícím vysvětlením:

- červeně byly označeny přirozené akumulční tvary ve vrcholech zákrut. Tyto tvary jsou zřetelné i na leteckém snímku.
- žlutě byla označena přirozená akumulční lavice v korytě toku, na leteckém snímku není tato lavice zcela zřetelná, je zastíněna stromy
- modře je označen břeh bez vegetace v délce 50 m, v terénu pak bylo identifikováno zpevnění břehu lomovým kamenem. Na leteckém snímku není zpevnění břehu zřetelné (může být ovlivněno rozdílnou dobou snímkování)
- zeleně je označen přirozený projev eroze ve vrcholu zákrut, na leteckém snímku není zřetelný (může být ovlivněno rozdílnou dobou snímkování)
- fialově označen úsek břehu bez vegetace, pravděpodobně způsobený lidskou činností, na leteckém snímku zřetelný

Projevy eroze a akumulace mohou svědčit o přirozeném vývoji toku, stejně tak však mohou být projevem antropogenních zásahů do odtokového režimu nebo úprav provedených v korytě toku. Zásadní je správná identifikace charakteru mechanismů, které projevy fluvialních procesů v korytě toku podnítily. Srovnání s referenčním stavem je nezbytné.





Obr. č. 15: Příklady projevu eroze a akumulace v korytě toku a porovnání interpretačního potenciálu leteckých (1) a satelitních (2) snímků z hlediska jejich detekce. Tok Blanice v blízkosti obce Záblatí.

#### 8.4.6 Variabilita šířek toku

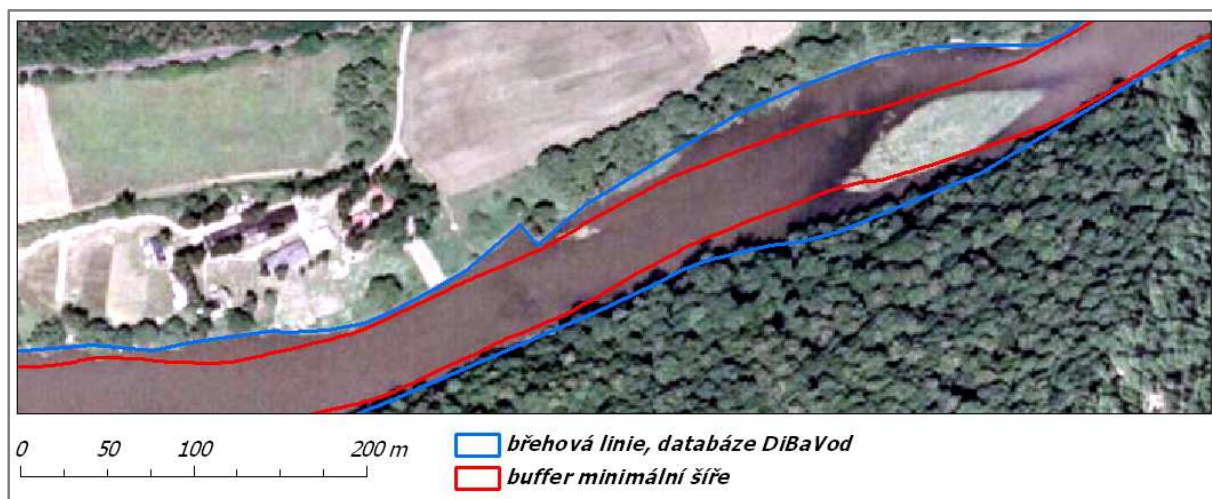
Hodnocení variability šířky toku je ovlivněno zastíněním toku břehovou vegetací, v případě celkového zastínění toku není parametr hodnocen vůbec. Variabilita šířek malých vodních toků s občasným zastíněním vodní hladiny je hodnocena na základě vizuální interpretace a kvalifikovaného odhadu míry variability, větší vodní toky je možné hodnotit na základě měření. V následující tabulce č. 9 jsou uvedeny možnosti hodnocení na základě vizuální interpretace, níže je popsán postup hodnocení variability v prostředí ArcGIS.

Tab. č. 9: Parametr hodnocení variability šířek vodních toků

1.7	Variabilita šířek toku	Nízká	-1b.
		Střední	0 b.
		Vysoká	1 b.
		na základě dat není možné určit	0 b.

Jako podklad hodnocení byla použita vektorová vrstva břehové linie z databáze DiBaVod, která byla konfrontována s obrazovými daty a v případě rozdílů upravena. Pro hodnocení byly použity nástroje ET Geo Wizards, freewarové extenze pro ArcGIS. Postup zpracování je následující:

- převod tematické vektorové vrstvy „břehová linie“ z liniové podoby do polygonové podoby pomocí nástroje z nabídky ET Geo Wizards : „convert-polyline to polygon“
- rozdělení polygonové vrstvy do sledovaných úseků
- vytvoření osy vektorových polygonů (střednice toku v daném úseku) pomocí nástroje z nabídky ET Geo Wizards : „create centerlines“
- vytvoření bufferu podél jednotlivých os polygonů, přičemž šíře bufferu odpovídá minimální šíři toku zjištěné v hodnoceném úseku. V případě výrazného jednorázového bodového zúžení toku není použita minimální šíře, ale „nejčastější minimální šíře“. Cílem tohoto kroku je vytvoření polygonu, od kterého se budou uvažovat odchylky variability šířek (viz obr. 16).



Obr. č. 16: Zobrazení bufferu minimální šíře a břehové čáry do obrazových dat (leteckých snímků), Berounka u obce Nezabudice

- výpočet ploch bufferu minimální šíře a polygonu břehové linie pro jednotlivé úseky
- výpočet míry variability podle následujícího vzorce:

$$\text{míra variability} = \frac{P(bl) - P(mb)}{P(bl)},$$

kde,  $P(bl)$  – plocha hodnoceného úseku vymezená břehovou linií

$P(mb)$  – plocha bufferu minimální šíře v hodnoceném úseku

Míra variability nabývá hodnot v rozmezí intervalu  $<0, 1)$ . Bodové ohodnocení parametru je možné buď na základě předem stanovených hranic pro jednotlivé možnosti hodnocení uvedené v tabulce č. 9 (např. hodnoty dosažené v přírodním úseku vs. hodnoty dosažené v antropogenně upraveném úseku), nebo aproximací vypočtené míry variability z intervalu  $<0, 1)$  na interval  $<-1, 1>$ , tak aby hodnoty odpovídaly navrženému intervalu hodnot v tab. 9.

#### 8.4.7 Charakter břehové vegetace

Charakter břehové vegetace je hodnocen na základě vizuální interpretace obrazových dat. Hodnocení je omezeno na rozpoznání charakteru vegetace, který je možný určit z obrazových dat. Pravý a levý břeh je hodnocen zvlášť. Výčet možností je uveden v následující tabulce č. 10.

Tab. č. 10: Parametr hodnocení charakteru vegetace břehů

1.8	Charakter břehové vegetace	bez vegetace z důvodu antropogenních úprav	-1 b.
		zatravnění upravených toků	0 b.
		zahrady a zelené plochy intravilánu	0 b.
		bez vegetace z důvodů přírodních podmínek	0 b.
		vegetace břehů bez zřetelného antropogenního ovlivnění	1 b.

V rámci hydromorfologického hodnocení má vegetace břehů význam především z hlediska stability břehů, útočišť pro organismy a tvorby biologického opadu. Důraz je kladen na přirozený charakter vegetace. Na následujícím obr. č. 17. je zachycen rozdíl mezi vegetací upravených toků a přirozenou vegetací.

Rozdíl mezi přirozeným charakterem břehové vegetace a antropogenně ovlivněným charakterem je na tomto příkladu jasně zřetelný. Zatravnění břehů upravených toků přechází v přirozené traviny se solitárními stromy, případně s pásem stromů. Rozdíl nemusí být vždy takto jednoznačně zřetelný. V případě nejasností je možné použít pro lepší orientaci informace o úpravách a zahloubení toků, přičemž je zde předpoklad, že břehová vegetace upravených a zahloubených (pouze uměle zahloubených) úseků toků byla v minulosti antropogenně modifikována.





Obr. č. 17: Rozdíl mezi břehovou vegetací upravených toků a přirozeným charakterem vegetace, tok Blanice u obce Myšenec.

#### 8.4.8 Přítomnost doprovodných vegetačních pásů podél toků

Vegetační pásy podél vodních toků plní řadu funkcí. Z hlediska komplexního zasazení do krajiny tvoří zásadní součást sítě migračních koridorů a biokoridorů, podílí se na zadržování vody v krajině a vytváří habitat pro řadu organismů ze světa flory i fauny. Pro vodní toky jsou zároveň jakýmsi nárazníkovým pásmem chránícími je před nepříznivými vlivy okolí, především přísunem živin z hospodářských ploch.

Přítomnost doprovodných vegetačních pásů (dále DVP) je hodnocena z hlediska jejich šíře. Dostatečnou šíří vegetačních doprovodů podél toků pro rostliny a živočichy sledovala Spackman a Hughes (Spackman, Hughes, 1995). Podle nich se dostatečná šíře různí od 10-30 m pro rostliny až po 75-175 m pro ptáky. Stanovením dostatečné šíře z hlediska absorpce dusíku se zabýval Mayer (Mayer a kol, 2005), který stanovil šíři 25 m jako schopnou zadržet 75 % přichozího dusíku. Pro potřeby hydromorfologického hodnocení byla stanovena minimální šíře doprovodných vegetačních pásů na 30 m. V tab. č. 11 je uveden postup hodnocení.

Tab. č. 11: Parametr hodnocení existence DVP

2.1	Přítomnost DVP	Bez DVP	-2 b.
		DVP v nedostatečné šíři	koeficient
		DVP v dostatečné šíři	2 b.

Přítomnost doprovodných vegetačních pásů má z hlediska ekohydrologického hodnocení zásadní charakter, proto je jejich přítomnost, nebo nepřítomnost vážena dvojnásobnou hodnotou. Jako existující, nebo částečně existující byly označeny takové vegetační pásy, které tvořily nepřetržitý pás dané šíře mezi vodním tokem a hospodářskými plochami nebo zástavbou. Sledována byla tedy přítomnost „nárazníku“ mezi vodním tokem a projevy antropogenního ovlivnění. Za antropogenní vliv nebyly brány komunikace a osamocené budovy (jejich hydromorfologický vliv byl hodnocen v rámci parametru *překážky v proudění*). Existence vegetačních pásů byla sledována ve třech následujících úrovních:

- pokud byla zaznamenaná šíře pásů vyšší než 30 m, byl parametr hodnocen kladně (DVP v dostatečné šíři).
- pokud byla šíře pásů nižší než 10 m, byl parametr hodnocen záporně (bez DVP)
- pokud byla šíře pásů v rozmezí 10 – 30 m, byl parametr hodnocen koeficientem vyjádřeným dvojnásobkem poměru zjištěné šíře a požadované šíře (30 m). Např. pro šíři pásů 15 m byl tento koeficient vypočítán následovně:  $2 \cdot 15 / 30 = 1$ . Koeficient tak nabývá hodnot v rozmezí  $<0,6 ; 2>$ .

Hodnotí se pravý a levý břeh zvlášť. Uvedená šíře doprovodných vegetačních pásů je sledována bez ohledu na šíři záplavového území v daném úseku. Hodnocení v praxi nad obrazovými daty probíhá s využitím dvou bufferů – 10 m od břehu toku pro určení minimální šíře a 30 m od břehu toku pro určení dostatečné šíře. V případě vizuálního zpracování je koeficient určující částečnou přítomnost vegetačních pásů kvalifikovaně odhadován, v případě možnosti zpracování obrazových dat je vypočítán.

#### 8.4.9 Charakter doprovodných vegetačních pásů a využití záplavové zóny

Hodnocení charakteru doprovodných vegetačních pásů a využití záplavové zóny je založeno na stejném principu. Z toho důvodu zde budou popsány zároveň. V případě fyzického vlastnictví dat jsou hodnoceny na podkladu výsledků zpracování obrazu. Oba parametry jsou hodnoceny pro každý břeh zvlášť.

Charakter doprovodných pásů je hodnocen pouze v případě existence DVP (i částečné). Možnosti hodnocení jsou uvedeny v následující tabulce č. 12.

Tab. č. 12: Parametr hodnocení charakteru DVP.

2.2	Charakter DVP	Vegetace doprovodných pásů bez výrazného antropogenního ovlivnění	1 b.
		Kulturní louka	0 b.
		Bez DVP	-1 b.

Hodnocení probíhá v pásu vymezeném hranicí vzdálenosti 30 m od břehu toku. Tato hranice je dodržena i v případě, kdy záplavová zóna stoleté vody je užší než zmiňovaných 30 m. Důraz je kladen na přirozený charakter vegetačních pásů.



Využití záplavové zóny je hodnoceno v rámci hranice rozlivu  $Q_{100}$  z databáze DiBaVod. Možnosti hodnocení jsou zapsány v následující tabulce č. 13.

Tab. č.13: Parametr hodnocení charakteru DVP

2.3	Využití záplavové zóny	Charakter ploch bez zřetelného antropogenního ovlivnění	2 b.
		Kulturní louka	1 b.
		Obytná zástavba se zelenými plochami	-1 b.
		Pole	-2 b.
		Obytná zástavba bez zelených ploch	-2 b.
		Zemědělské, průmyslové a výrobní areály	-2 b.
		Holá půda (podmíněná lidskou činností)	-2 b.

V záplavové zóně se často nachází více druhů povrchů, do databázové tabulky je v případě vizuální interpretace obrazových dat zapsán dominantní druh povrchu, přičemž je uvažována rozloha daného druhu povrchu v rámci sledovaného úseku, jeho vzdálenost od toku a potenciální ovlivnění kvality vody v případě vybřežení. V případě možnosti zpracování obrazových dat je vypočteno procentuální zastoupení jednotlivých druhů povrchu v rámci záplavové zóny náležející k sledovanému úseku toku.

S antropogenním ovlivněním doprovodných vegetačních pásů a záplavové zóny často souvisí i regulace vodního toku. Na následujícím obr. č. 18 je zobrazen příklad, kdy je okolí toku intenzivně zemědělsky využíváno, ale toku byl ponechán jeho přirozený charakter (1). Z detailu (2) je pak zřetelné, že v některých úsecích byla v rámci zemědělských aktivit odstraněna i břehová vegetace. Šíře toku na obr. 18.1 je přibližně 12 m.



Obr. č. 18: Využití území podél toku Roggia Mussa v blízkosti obce Tricerro, Itálie (1) a detail koryta toku bez břehové vegetace (2)

#### 8.4.10 Překážky proudění v záplavové zóně

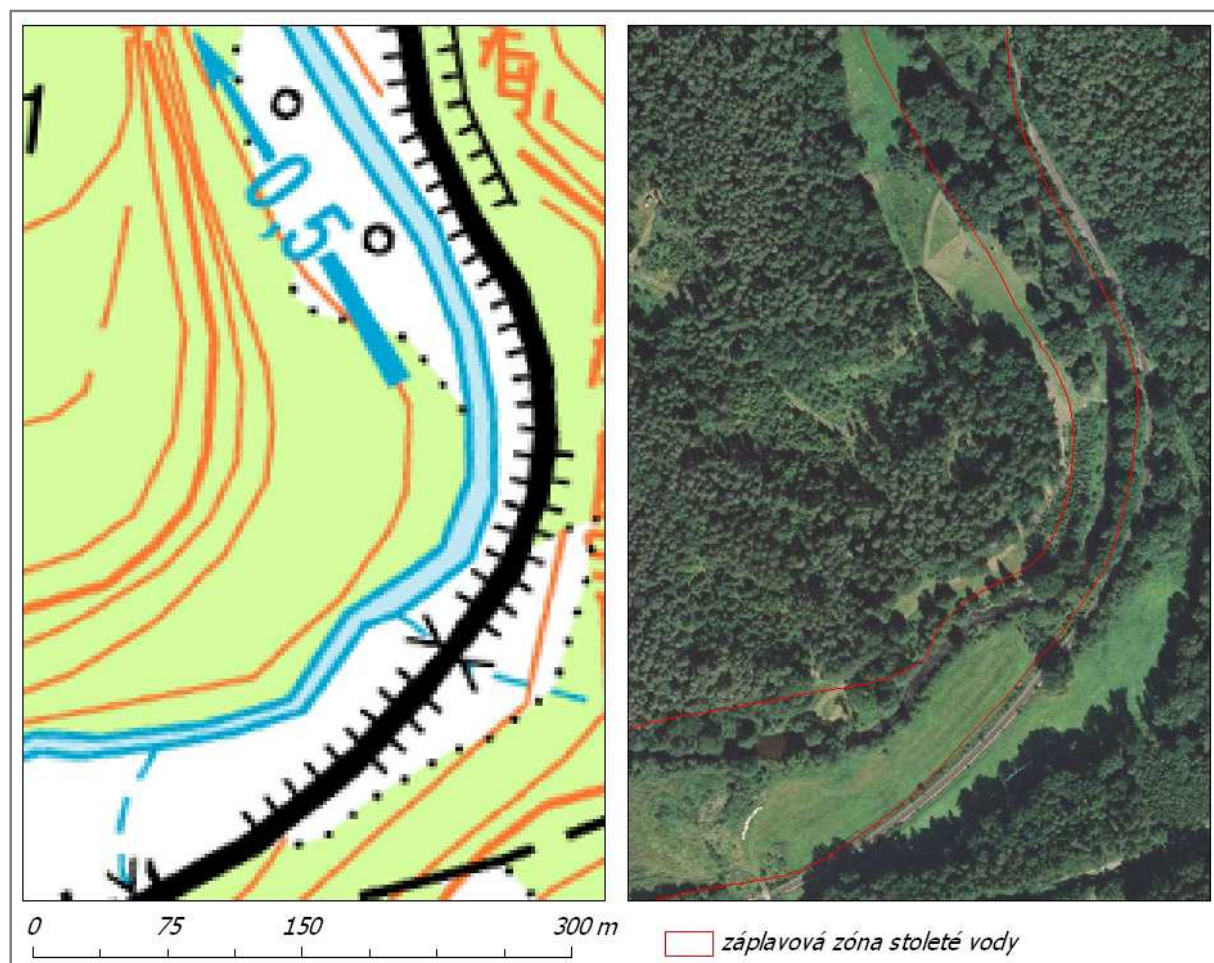
Parametr je založen na detekci objektů v záplavové zóně, které jsou při průchodu povodňové vlny ohroženy zatopením s následnými škodami na majetku (obytná zástavba) nebo ovlivněním kvality vody (zemědělské, průmyslové a výrobní areály). Dále jsou sledovány objekty, které mohou ovlivnit přirozený rozliv (podélné komunikační valy), nebo mohou zapříčinit akumulaci unášených objektů v korytě (mosty). Možnosti hodnocení parametru jsou uvedeny v následující tabulce č. 14.

Tab. č. 14: Parametr hodnocení překážek proudění v záplavové zóně

2.4	Překážky v proudění	Mostky pro pěší	-2 b.
		Silniční a železniční mosty	-2 b.
		Podélné valy v nivě	-1 b.
		Osamocené budovy	0 b.
		Roztroušená zástavba	-1 b.
		Obytná zástavba	-2 b.
		Zemědělské, průmyslové a výrobní areály	-2 b.
		Bez překážek	0 b.

Hodnocení probíhá na základě vizuální interpretace leteckých a satelitních snímků a Topografických map AČR 1:25 000. V rámci vizuální interpretace jsou identifikovány jednotlivé objekty a typy budov v zátopové zóně, mosty přes koryta toku, přičemž je zvažován faktický potenciál mostu zadržet unášený materiál. Podélné valy v nivě jsou sledovány na podkladu zákresu zářezů (především podél komunikací) v záplavové zóně., viz obr. č. 19.

Na následujícím obr. č. 19 je zobrazen zákres zářezu podél komunikace na TM, přičemž při zobrazení zóny rozlivu stoleté vody do leteckého snímku je zřetelné omezení této zóny zmíněným zářezem valu komunikace.



Obr. č. 19: Podélný val v nivě nad obcí Strunkovice nad Blanicí zobrazený na Topografické mapě 1:25 000 (vlevo). Val, na kterém je umístěna železnice, omezuje tok Blanice v jeho přirozeném rozlivu. Hranice rozlivu pro stoletou vodu ve sledovaném úseku přesně kopíruje železniční val (vpravo).

#### 8.4.11 Retence vody v záplavovém území

Parametr hodnocení možnosti retence vody v zátopovém území je hodnocen na základě vizuální interpretace obrazových dat, nebo jejich zpracování. Sledována je možnost retence vody v záplavové zóně, tedy zda vlivem antropogenní činnosti nebyla pozměněna schopnost krajiny zadržet vodu. Omezená schopnost retence byla identifikována v případech, kdy záplavová zóna byla limitována podélnými valy, zaplavové území bylo obydleno, hospodářsky využíváno, nebo jsou zde lokalizovány obchodní a výrobní areály. Postup hodnocení je zapsán v následující tab. č. 15.

Tab. č. 15: Parametr hodnocení možností retence

2.5	Možnosti retence	Možnosti přirozené retence	1 b.
		Omezená schopnost retence	-1 b.

Z hlediska možností retence byly na obrazových datech v území detekovány tůně, na podkladu tematických vektorových vrstev je zjišťována přítomnost bažin a močálů a lokalit



akumulace povrchových vod. Možnost přirozené retence je označena v úseku, kde v případě vybrežení voda v záplavové zóně zatopí pouze plochy s přirozeným charakterem vegetace bez překážek proudění nebo kulturní louky.

Na obr. č. 20 jsou zobrazeny úseky neregulovaného (1) a regulovaného (2) úseku toku s možností přirozené retence vody. Na obr. č. 18 v kap. 8.4.9 je zobrazen úsek neregulovaného toku, kde je retenční schopnost záplavové zóny v důsledku zemědělského využití území výrazně omezena.



Obr. č. 20: Příklad úseků toku Nidy (1) v blízkosti obce Morawica, Polsko a toku Krapina (2) v blízkosti Záhřebu, Chorvatsko s možností přirozené retence vody

#### 8.4.12 Odvodnění území

Odvodnění území je hodnoceno na podkladě tematické vektorové vrstvy „meliorační kanály“, možnosti hodnocení jsou uvedeny v následující tabulce č. 16.

Tab. č. 16: Parametr hodnocení odvodnění území

2.6	Odvodnění území	Zaústění odvodňovacích drenáží	-1 b.
		V území nejsou lokalizovány odvodňovací drenáže	0 b.

Zaústění odvodňovacích drenáží do vodních toků je zřetelným identifikátorem antropogenního ovlivnění území a narušení přirozené úrovně hladiny podzemních vod, které je často spojeno i se zahloubením vodních toků a modifikací jejich koryt.

#### 8.4.13 Ovlivnění odtoku

Parametr ovlivnění odtoku byl hodnocen na základě dat z databáze HEIS, která je přístupná přes webové rozhraní. Možnosti hodnocení parametru jsou podány v následující tabulce č. 17. Přes webové rozhraní jsou v mapě zobrazeny jednotlivé body odběrů a výpustí vod z ČOV, v připojené datové tabulce je zapsán účel odběru a množství odebírané vody. Ovlivnění odtoku může narušit přirozené fluvialní procesy a je hodnoceno negativně.

Tab. č. 17: Parametr hodnocení ovlivnění odtoku

2.7	Ovlivnění odtoku	Zaústění , nebo odběry vod	-1 b.
		Bez ovlivnění	0 b.

### 8.5 Fotointerpretace

Fotointerpretace je výzkumná metoda, která prostřednictvím snímků zkoumá předměty a jevy na nich zobrazené a na jejich základě usuzuje na ty, které na nich zobrazeny nejsou (Dobrovolný, 1998). V případě hydromorfologického hodnocení je možné metodu fotointerpretace využít jako doplňkový zdroj informací o hodnoceném toku a celém území.

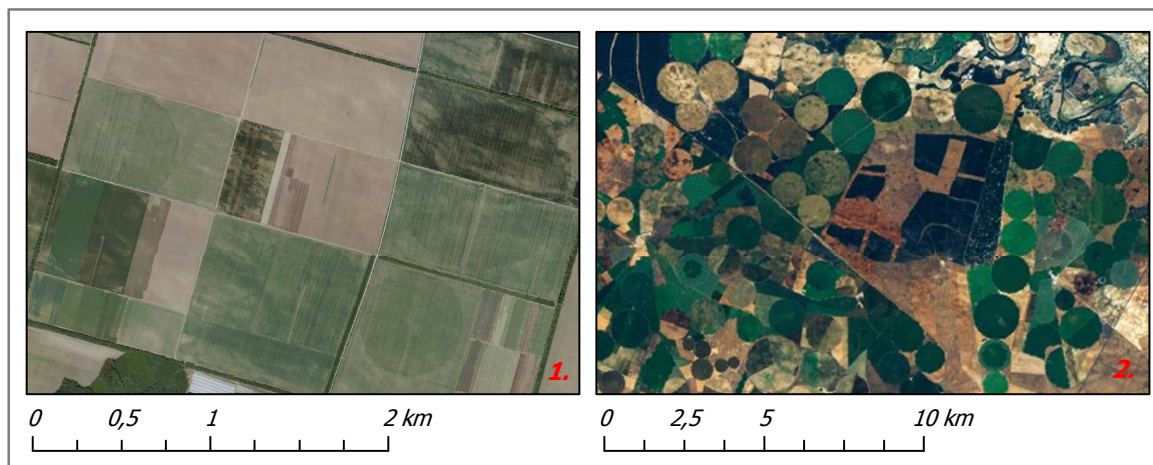
Na podkladu obrazových dat je možné sledovat vývoj krajiny v čase. Na obr. č. 21.1 je zobrazeno koryto Vltavy na území dnešní v.n. Lipno. Na černobílém snímku z roku 1952 jsou podél toku zřetelné zazemněné meandry Vltavy, tyto meandry však nejsou zakresleny v mapách II. Vojenského mapování (1836-1852) a je tedy pravděpodobné, že v době II. VM již nebyly v terénu výrazným a zřetelným prvkem.

Na obr. č. 21.2 je zobrazeno území, které pravděpodobně bylo v minulosti v rámci hospodářského využití pozemků odvodněno. Původní průběh říční sítě je na obrazových datech v podobě průlehu stále zřetelný. V rámci hydromorfologického hodnocení je možné tyto projevy zohlednit při hodnocení změny charakteru průběhu toku krajinou.



Obr. č. 21: Staré meandry Vltavy na území dnešní v.n. Lipno, možné projevy původní říční sítě v okolí obce Dalmand, Maďarsko

Na obr. č. 22 je zobrazeno území se zřetelnými kruhovými strukturami vzniklé zavlažováním. Tyto projevy signalizují možné odběry vod z povrchových vodotečí a je možné je zohlednit v rámci hodnocení ovlivnění odtoku.



Obr. č. 22: Projevy zavlažování, příklady z okolí Znojma, obec Křídlovky (1) a okolí města Albacete (2), Španělsko

Na obr. č. 23 je zřetelné antropogenní zpevnění koryta toku v zákrutech. Podobné projevy je možné zohlednit v rámci hodnocení upravenosti koryta toku.



Obr.č. 23: Stabilizace zákrut koryta, tok v blízkosti obce Vinterovec, Chorvatsko  
Zdroj: [www.maps.google.com](http://www.maps.google.com)

Na následujícím obr. č. 24 je zobrazen úsek toku kazachstánské řeky Ili. Červené zabarvení je možné přisoudit buď místním podmínkám geologického podloží, nebo zaústění kanálu (v detailu). Podobné projevy jsou využitelné v rámci hodnocení ovlivnění kvality vody.





Obr. č. 24: Úsek toku řeky Ili, Kazachstán.  
Zdroj: [www.maps.google.com](http://www.maps.google.com)

## 8.6 Rozšířené možnosti hodnocení

Fyzické vlastnictví leteckých a satelitních snímků umožňuje v rámci základního hydromorfologického hodnocení zpřesnění jak kvantitativního hodnocení parametrů využití záplavové zóny a existence doprovodných vegetačních pásů, tak i kvalitativního hodnocení parametru retence vody v záplavové zóně a hodnocení nového parametru variability hloubek.

### 8.6.1 Variabilita hloubek

Hodnocení variability hloubek je založeno na detekci struktur v korytu toku. Možnosti hodnocení variability hloubek vodního toku byly sledovány na podkladu satelitních panchromatických a multispektrálních snímků a leteckých snímků. Využití konkrétních datových podkladů bylo diskutováno v aplikační části v modelovém povodí Vltavy a Blanice. Teoretické základy a principy zpracování dat byly čerpány z níže uvedených odborných publikací.

Na základu zpracování barevných RGB snímků a porovnání s výsledky terénního mapování byly sledovány hloubky na úseku toku Brazos River (Jordan a Fonstad, 2005 a Fonstad a Marcus, 2005), na podkladu hyperspektrálních dat z viditelného a blízkého infračerveného spektra byla sledována morfologie koryta toku Lamar Creek (Marcus et al, 2003) a výsledky byly diskutovány z hlediska subpixelové heterogenity hloubek a substrátu dna (Legleiter a Roberts, 2005 a Legleiter et al, 2004). Spektrálním projevem hloubek a různých materiálů dna se zabýval také Gilvear et al (2007) a Legleiter et al (2009). Zpracování obrazových dat s prostorovým rozlišením 3-14 cm a jejich verifikaci s terénním měřením provedl na úsecích čtyř toků Lejot et al (2007). Z hlediska prostorového rozlišení a přesnosti publikoval nejpodrobnější studii Carbonneau et al (2006). Výsledek objektové klasifikace RGB obrazu toku Sainte-Marguerite s prostorovým rozlišením 3 cm byl verifikován s 1500 kontrolními body měření hloubek

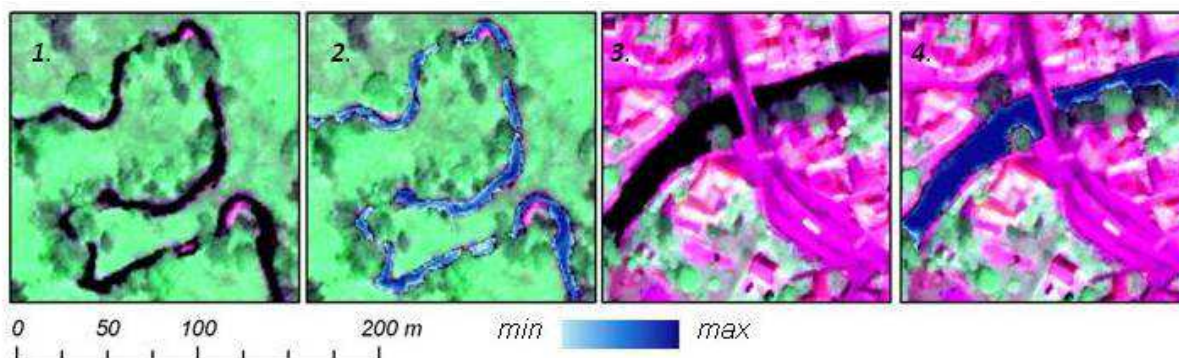
lokalizovanými pomocí GPS s polohovou přesností 3-5 cm na 250 m dlouhém úseku toku. Definicí rovnice na výpočet hloubek z obrazových dat s prostorovým rozlišením 1-3 cm na základě verifikace s terénním měřením se zabýval Feurer a kol (2008). Bližší rešerší stávajících poznatků v oblasti sledování morfologie koryt toků na podkladě dat dálkového průzkumu Země se zabývali Marcus a Fonstad (2010) a Lane (2000).

Parametr variability hloubek byl hodnocen následovně:

Tab. č. 18: Parametr hodnocení variability hloubek

1.9	Variabilita hloubek	Střídání hlubších a mělčích úseků v příčném a podélném profilu	1 b.
		Z důvodu zastínění není možné určit	0 b.
		Detekována jednotná hloubka v příčném i podélném profilu úseku	-1 b.

Na následujícím obr. č. 25. je znázorněn příklad úseku toku se střídáním hlubších a mělčích úseků v příčném i podélném profilu (1 a 2) a úsek v němž variabilita hloubek detekována nebyla (3 a 4).



Obr. č. 25: Úseky toku na snímků z družice QuickBird se střídáním hlubších a mělčích úseků (1) se zobrazením výsledků neřízené klasifikace (2) a úsek toku s jednotnou identifikovanou hloubkou v příčném i podélném profilu (3) se zobrazením výsledků neřízené klasifikace (4).

Kvantitativní zpřesnění parametrů využití záplavové zóny a existence DVP

Zpracování obrazových dat pomocí řízených a neřízených klasifikací umožňuje přesnější hodnocení parametrů využití záplavové zóny a existence DVP. Hodnocení pak není založeno na kvalifikovaném odhadu, ale na přesném měření.

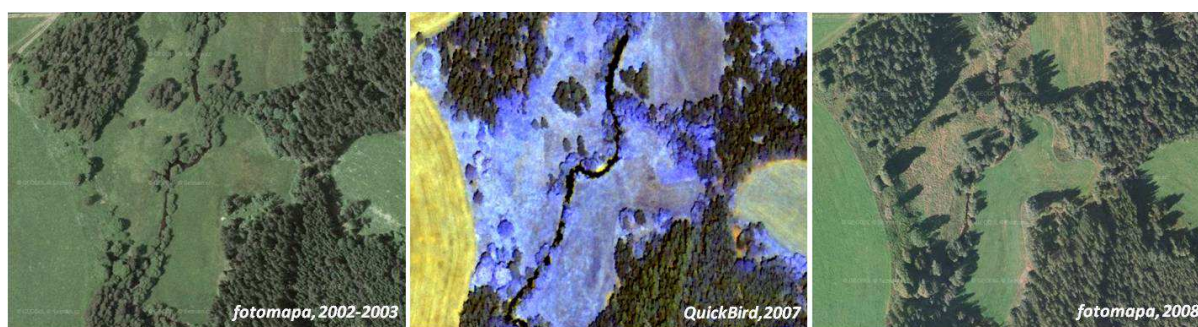
Zpracování obrazových dat probíhá v rámci vymezení uvedených zón – 30m pás podél toků v případě hodnocení parametru existence DVP a rozsah stoleté vody v případě hodnocení parametru využití záplavové zóny.

V případě hodnocení využití záplavové zóny jsou obrazová data automaticky klasifikována do kategorií definovaných v rámci parametru 2.3 a pro jednotlivé úseky toku je počítána jejich rozloha a relativní zastoupení v rámci rozlohy území vymezeného rozsahem stoleté vody. Následně je relativní hodnocení vynásobeno koeficientem, který byl jednotlivým kategoriím



využití záplavové zóny přiřazen v rámci parametru 2.3. Výsledná hodnota pro daný úsek je pak součtem všech násobků relativního zastoupení a koeficientů příslušné kategorie. Hodnocení probíhá pro pravý a levý břeh zvlášť a z hlediska efektivity hodnocení je vhodné jej použít v případě, kdy má využití záplavové zóny heterogenní charakter.

Zpracování obrazových dat za účelem hodnocení využití území je závislé na roční době a vegetačním období snímání. Plochy, které jsou v období po žních jednoznačně identifikovatelné jako pole, mohou být v jarních měsících zaměnitelné za trvalé travní porosty (viz obr. č. 26.). Z toho důvodu je vhodné používat během hodnocení dva různé zdroje obrazových dat. Možnost srovnání více obrazových podkladů zároveň limituje extrémy, které byly na snímcích zachyceny, např. následky povodní, dočasné odstranění vegetace v době stavby atd.



Obr. č. 26: Vizuální porovnání interpretačního potenciálu různých zdrojů obrazových dat

V rámci hodnocení existence DVP je v 30m pásu podél toků zjišťována přítomnost antropogenně ovlivněných ploch. Vzhledem ke vzdálenosti těchto ploch od břehu toku je pak určováno bodové ohodnocení parametru v souladu s hodnocení parametru 2.1 (přičemž je dodržována 10m minimální šíře DVP).

V aplikační části budou popsány postupy testování využití distančních podkladů v modelových územích a jejich začlenění do hydromorfologického hodnocení vodních toků. V modelovém území Rolavy byla na podkladu porovnání s výsledky terénního hodnocení EcoRivHab testována kalibrace distanční metody QuaWaDis a její přesnost, resp. vypovídací hodnota distančních podkladů. V modelovém území Kalinova Ves byla na mozaice leteckých snímků testována možnost a smysluplnost využití objektové klasifikace v hydromorfologickém hodnocení. V modelovém území úseku Vltavy byla testována možnost hodnocení variability hloubek na podkladu multispektrálních snímků a posuzována možnost sledování přirozeného vývoje koryta toku na podkladu obrazových dat.

V modelovém území Blanice byly v rámci distančního hodnocení hlavního toku použity výsledky zpracování scény satelitního snímku (scéna pokrývala území horního toku Blanice).

## 9 Modelové území Rolavy

Tok Rolavy byl vybrán jako modelové území z důvodu možnosti srovnání výsledků distanční metody s výsledky terénního mapování. Antropogenní ovlivnění hlavního toku Rolavy bylo hodnoceno v rámci zpracování ročníkové a diplomové práce Mostecké- Lelut (Mostecká, 2005; Lelut, 2007), řešené v rámci projektu GA ČR č. 205/05/P102 „Hodnocení ekohydrologického stavu vodních toků v kontextu Rámcové směrnice ochrany vod EU“. Pro hodnocení byla použita metoda EcoRivHab (Matoušková 2003, 2007). V rámci porovnání výsledků distanční a terénní metody bylo k dispozici hodnocení jednotlivých parametrů v mapovaných úsecích. Kromě správnosti nastavení a kalibrace distanční metody bylo tedy možné hodnotit i vypovídací hodnotu tematických vektorových a obrazových podkladů.

Cílem uvedeného srovnání výsledků je stanovení, zda distanční metoda a terénní metoda hodnocení poskytují srovnatelnou klasifikaci úseků vodních toků do kvalitativních kategorií v souladu s Rámcovou směrnicí o vodách (EC, 2000). Tedy zda jsou srovnatelné výsledky klasifikace úseků toků na ty, které jsou v dobrém a velmi dobrém ekologickém stavu a je třeba je chránit a na ty, které dobrého ekologického stavu nedosáhly a je třeba jejich stav zlepšit. Výsledky byly publikovány v článku „Distanční mapování ekohydrologického stavu vodních toků“ (Králová, Matoušková, 2012)

### 9.1 Charakteristika území

Rolava pramení 2 km severně od obce Přebuz ve výšce 920 m n.m. a ústí zleva do Ohře v Karlových Varech ve výšce 370 m n.m., celková délka hlavního toku je 36,6 km. Charakter toku je ovlivněn stavbou kerného pohoří Krušných hor a ve svém podélném profilu se několikrát mění. Pramení v rašelinné oblasti zarovnaného terénu Přebuzské hornatiny, v místech bývalé obce Chaloupky se zařezává do podloží Karlovarského plutonu a vytváří

hluboké erozní údolí, které se na úrovni obce Nová Role otevírá do Sokolovské pánve (Lelut, 2007). Plocha povodí hlavního toku Rolavy bez přítoků byla v prostředí AcrGIS 9.3 vypočítána na 121,5 km<sup>2</sup>. Z pohledu Typologie vodních toků (Podle Langhammera a kol, 2009) byl horní úsek Rolavy (pramen-Nejdek) zařazen mezi vrchovinné toky úmoří Severního moře na krystaliniku (typ 131), dolní tok pak mezo toky středních výšek úmoří Severního moře na sedimentárních horninách (typ 122).

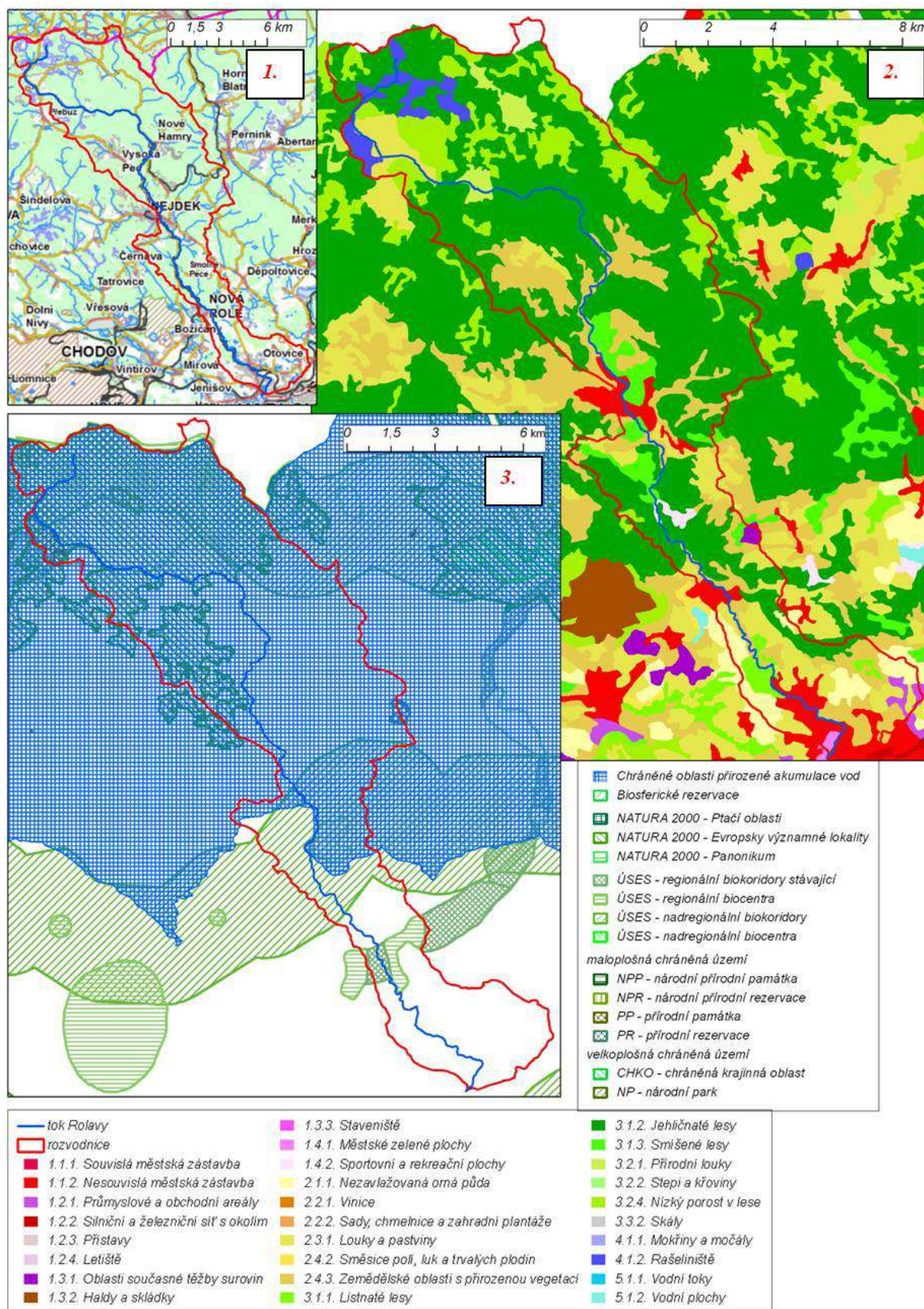
Srážkoodtokovými poměry se zabýval Ledvinka (Ledvinka, 2008). V rozložení srážek v rámci území je patrný jejich úbytek s klesající nadmořskou výškou. V rámci roku jsou nejdeštivějším obdobím letní měsíce (červenec a srpen) a prosinec. Dlouhodobý průměrný průtok na limnigrafu Chaloupky na 27,9 ř. km je 0,72 m<sup>3</sup>/s, na profilu Stará Role na 3,8 ř. km pak 2,39 m<sup>3</sup>/s. Podle Ledvinky (2008) maximální hodnoty průtoků korelují s jarním táním, které způsobuje, že v roční bilanci byl tok Rolavy označen jako tok s nevyrovnaným odtokem (v celkovém součtu se přibližně dvě třetiny roku nacházejí pod průměrnou hodnotou).

Velké vertikální převýšení povodí má vliv na rozdílné klimatické, pedologické a biogeografické poměry. Průměrné lednové teploty se pohybují mezi (-5) °C a (-3) °C, průměrné červencové pak mezi 14-16 °C. V severní horské části povodí převažuje chladnomilná montánní vegetace, typické jsou zde jehličnaté lesy, vřesoviště a polopřírodní louky. S klesající nadmořskou výškou se snižuje podíl lesů ve prospěch pastvin, luk a urbanizovaných ploch. V severní části povodí jsou typické kryptopodzoly, na podmáčených místech pak organozemě. Ve střední a jižní části povodí převažují kambizemě, podél toků fluvizemě a jejich oglejené variace. V blízkosti sídel pak kultizemě (Lelut, 2007).

Povodí Rolavy je přiřazováno ke Krušnohorské zřídelní oblasti, severní část povodí patří k Chráněné oblasti přirozené akumulace vod (CHOPAV) a je zde vymezen Přírodní park Přebuz a Přírodní park Jelení vrch, Chráněná území Velký močál, Velké jeřábí jezero, Malé jeřábí jezero, Oceán a Přebuzské vrchoviště. Na obr. č. 27 je zobrazena mapa lokalizace povodí Rolavy (1), kategorie krajinného krytu z databáze CORINE pro rok 2006 (2) a lokalizace významných krajinných prvků (3).

Administrativně je povodí Rolavy děleno do dvou okresů – Karlovy Vary a Sokolov. Území podél horního toku zůstalo po odsunu sudetských Němců prakticky neobydlené, nicméně původní antropogenní zásahy do říční sítě jsou zde stále patrné i po více než 60 letech, nachází se zde obec Nové Hamry. Na středním toku se nachází obec Nejdek, na dolním toku pak Nová Role a v rámci Karlových Varů Stará Role. Průmysl je zde zastoupen zpracováním vlny VLNAP v Nejdku a porcelánkou Bohemia v Nové Roli. Rozdílné antropogenní ovlivnění na horním a dolním toku se prokazatelně projevilo v rámci provedené analýzy hydromorfologického hodnocení.





Obr. č. 27: Lokalizace povodí Rolavy (1), mapa krajinného krytu CORINE pro rok 2006 (2) a lokalizace významných krajinných prvků (3).

## 9.2 Použitá data

Tok Rolavy byl hodnocen pouze v základním rozsahu a pro hodnocení byla použita následující volně přístupná data:

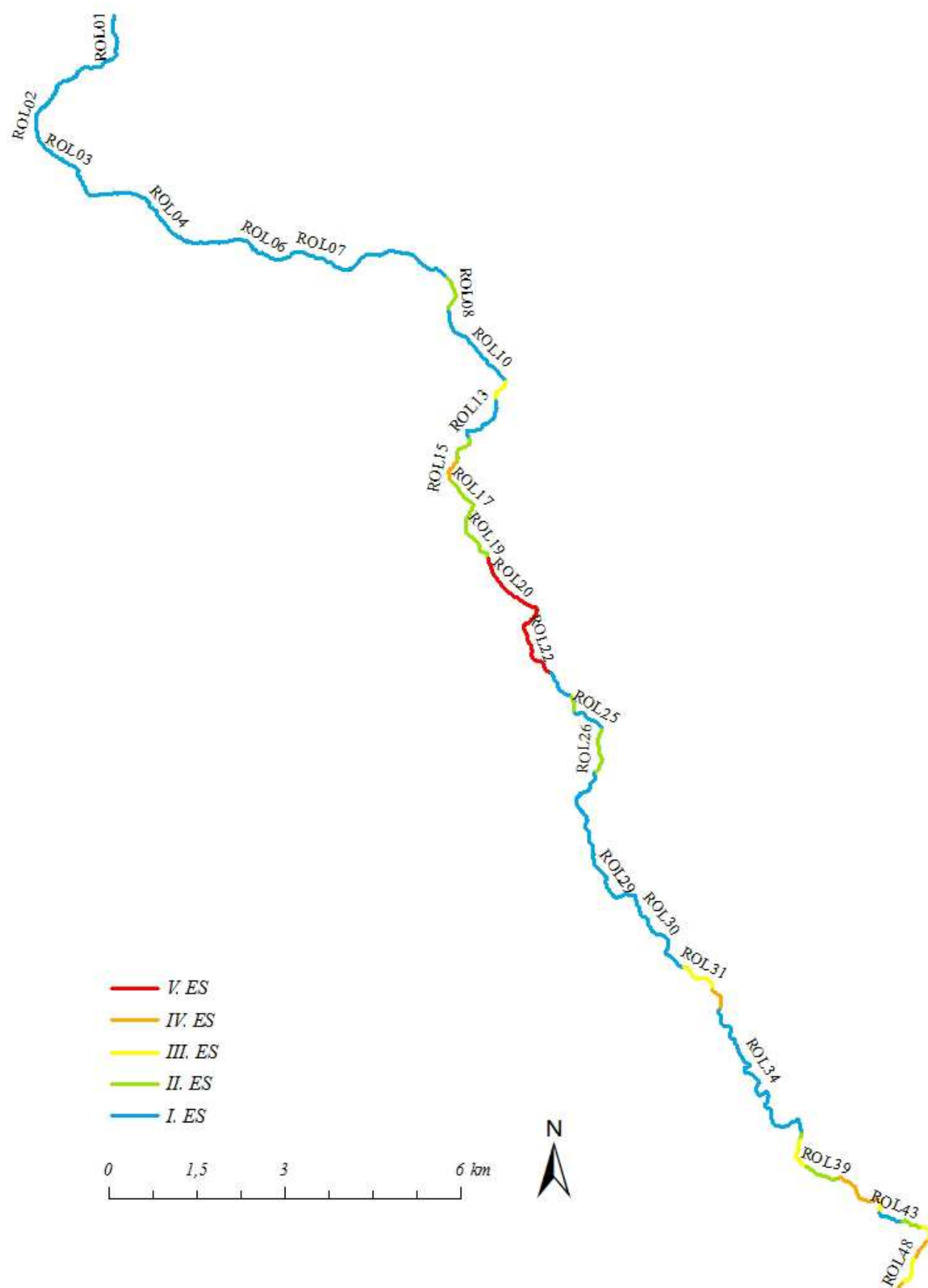
- barevná ortofotomapa (zdroj: geoportál Cenia)
- Základní vodohospodářská mapa 1:50 000 (zdroj: databáze HEIS, VÚV), listy 01-34 Rolava (platná k 30.11.1990), 11-12 Kraslice (platná k 30.11.1988), 11-21 Karlovy Vary (platná k 30.11.1988)
- Topografické mapy 1:25 000 (geoportál Cenia)
- mapy Pozemkového katastru (zdroj: ČÚZK)
- mapy II. Vojenského mapování (zdroj: geoportál Cenia)
- vektorová vrstva vodních toků (zdroj: DiBaVod, VÚV)
- hranice aktivní zóny záplavového území pro  $Q_{100}$  (zdroj: DiBaVod, VÚV)
- vektorová vrstva melioračních kanálů (zdroj: DiBaVod, VÚV)
- lokalizace bažin a močálů (zdroj: DiBaVod, VÚV)
- satelitní mapa (zdroj: <http://server.arcgisonline.com>)
- informace o odběrech vod a výpustích do toku (zdroj: databáze HEIS, VÚV)

## 9.3 Průběh a výsledky distančního hodnocení

Na základě výše uvedených datových podkladů bylo provedeno distanční hodnocení toku Rolavy metodou QuaWaDis v jejím základním rozsahu. Hodnocení probíhalo v délkově heterogenních úsecích, které byly vymezeny během terénního hodnocení tak, aby bylo možné výsledky terénní a distanční metody porovnat. Úseky byly číslovány postupně od pramene po ústí. Celkem bylo 36,6 km toku rozděleno do 49 úseků s průměrnou délkou 748 m. Rozpětí výsledných hodnot pro jednotlivé úseky se pohybovalo v rámci intervalu  $<-20;18>$ .

Výsledky hodnocení s vyznačenými úseky jsou zobrazeny na obr. 28, hodnoty pro jednotlivé úseky byly klasifikovány do pěti stupňů v souladu s RSV podle tab. 2. Distanční metodou byly úseky toku v extravilánu ohodnoceny I. a II. ES, úseky toku v obcích byly ohodnoceny III. ES (Nové Hamry a Nová Role), IV. ES (Stará Role, Vysoká Pec) a V. ES (Nejdek). Cílem distančního hodnocení v modelovém území Rolavy nebylo hodnocení samotné, ale možnost porovnání výsledků distančního hodnocení a terénního hodnocení, kalibrace distanční metody a stanovení vypovídací schopnosti distančních podkladů. Z toho důvodu zde konkrétní výsledky distančního hodnocení nebudou detailněji popisovány.

Výsledné hodnoty distančního hodnocení byly porovnány s výsledky terénního hodnocení za účelem zjištění správného nastavení hodnotícího systému (kalibrace metody) a vypovídací hodnoty distančních datových podkladů ve srovnání s detailním terénním mapováním (přesnost metody).



Obr. č. 28: Výsledky distančního hodnocení hlavního toku Rolavy s lokalizací jednotlivých úseků.



#### 9.4 Postup porovnání výsledků a příprava dat

Metoda distančního hodnocení QuaWaDis a terénní metoda EcoRivHab jsou založeny na různých přístupech, které komplikovaly vzájemné porovnání výsledků v jednotlivých úsecích. Základní rozdíly a zdroje nepřesností jsou následující:

- rozdílná definice referenčního stavu - terénní metoda srovnává stávající stav s potenciálně přirozeným stavem
- princip hodnocení – v rámci terénního mapování jsou hodnoceny stupeň přírodnosti a míra antropogenního ovlivnění (např. míra zahloubení toku, charakter zpevnění břehů atd.), distanční metoda sleduje pouze jednoznačný a identifikovatelný projev antropogenního ovlivnění (např. upravený úsek, zahloubený úsek atd.).
- rozdílné bodové hodnocení – terénní metoda využívá pětistupňové škály hodnocení  $\langle 1;5 \rangle$ , zatímco distanční metoda používá pouze tři hodnoty  $\langle -1;0;1 \rangle$ . Rozdíl mezi skórováním se v konečném hodnocení projevuje zdůrazněním extrémů v případě „bipolárního“ systému oproti pětistupňové škále.
- nejednotné stáří vstupních mapových podkladů (ZVM, TM, tematické GIS vrstvy) a jejich neaktuálnost v porovnání s terénním mapováním.
- generalizace mapových podkladů (např. lokální úpravy koryta v blízkosti jezu nejsou zakresleny do map, ale v rámci terénního hodnocení má takováto lokální úprava vliv na výsledný hydromorfologický stav daného úseku).
- rozdílné vymezení zóny nivy (resp. záplavové zóny) – v rámci terénní metody bylo použito metrické vymezení nivy (200 m) podél vodního toku (Lelut, 2007), distanční metoda používá k vymezení nivy tematickou vektorovou vrstvu záplavové oblasti 100leté vody  $Q_{100}$ .
- prostorové vymezení hodnocených úseků – shodné vymezení je z důvodu srovnávací analýzy nezbytné
- míra subjektivity hodnocení vybraných parametrů při terénním mapování, např. četnost výskytu akumulčních a erozních tvarů

Cílem porovnání výsledků distanční metody s výsledky terénního průzkumu bylo stanovení schopnosti distanční metody klasifikovat úseky vodních toků podle potřeb Rámcové směrnice o vodách (dále RSV). Přímé porovnání výsledků je zatíženo výše uvedenými chybami (viz obr. č.29). Z toho důvodu byla kromě přímého srovnání výsledků sledována i správnost kalibrace metody (zda na základě stejných vstupních dat je možné získat stejné výsledky jak terénní, tak distanční metodou) a použitelnost metody (zda je možné z distančních podkladů získat o hydromorfologickém stavu úseku toku stejné informace jako v terénu).

Pro přímé srovnání metod byly použity výsledky terénní metody EcoRivHab (mapováno na jaře 2005, Lelut 2007) a výsledky distanční metody QuaWaDis. Pro potřeby zjištění správnosti kalibrace a přesnosti distanční metody byl vytvořen referenční soubor výsledků. Tento referenční soubor vznikl zpětnou klasifikací databáze terénních výsledků EcoRivHab v souladu s principy a parametry distanční metody QuaWaDis, příklad převodu hodnot je zapsán v tabulce v příloze 1. Výsledky jsou dále označovány jako QuaWaDis-EcoRivHab.

Tato transformovaná databáze je pak srovnatelná jak s výsledky terénní metody, tak s výsledky distančního hodnocení.

Kalibrace metody a určení její použitelnosti byly posuzovány v následujících třech stupních detailnosti:

- správnost zařazení do skupin toků v souladu s RSV - dělení na úseky v dobrém ekologickém stavu, které je potřeba chránit a na úseky toků, které tohoto stavu nedosáhly a v souladu s RSV je nutné jejich stav zlepšit
- správnost zařazení do výsledného ES – zařazení do stejného ES v rámci distanční i terénní metody
- výše bodového rozdílu výsledného ES mezi oběma metodami pro jednotlivé úseky

Bodové hodnoty distanční metody byly pro potřeby kalibrace na úrovni b) a c) přepočítány pomocí následujícího vztahu (1) na pětistupňovou škálu hydromorfologických stupňů (ES), která odpovídá terénní metodě.

$$A(terén) = \frac{\max(a) - A(dis)}{(\max(a) - \min(a))} * 4 + 1 \quad (1), \text{ kde}$$

$A(terén)$  je výsledná hodnota v pětistupňové klasifikační škále

$A(dis)$  je dosažená hodnota pro skupinu parametrů v zóně  $a$

$\max(a)$  je maximální dosažitelné bodové ohodnocení pro skupinu parametrů v zóně  $a$

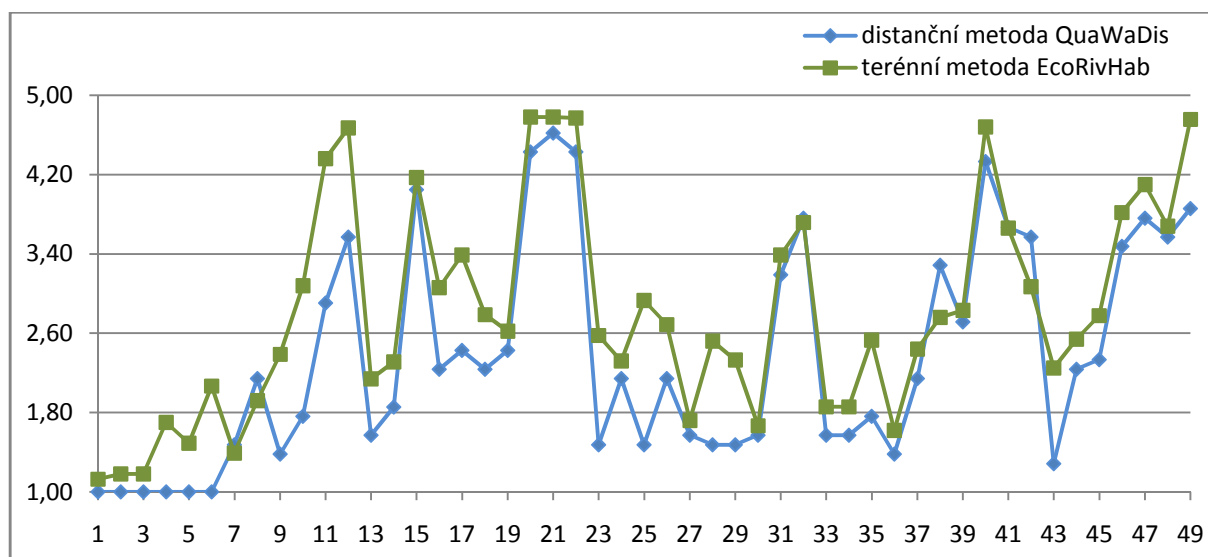
$\min(a)$  je minimální dosažitelné bodové ohodnocení pro skupinu parametrů v zóně  $a$

Parametry byly seskupeny do jednotlivých zón v souladu s metodou EcoRivHab. Pro jednotlivé úseky pak byly porovnány výsledky celkového hydromorfologického stavu a dílčí výsledky hydromorfologického stavu koryta toku. Z důvodu rozdílného principu hodnocení a vymezení zóny DVP a zóny nivy nebyly dílčí výsledky pro tyto zóny porovnávány.

### 9.5 Přímé porovnání výsledků distančního a terénního hodnocení

Porovnání výsledků terénního a distančního hodnocení toku Rolavy je zobrazeno na obr. č. 29. Jde o grafické porovnání celkového hydromorfologického stavu pro jednotlivé úseky. Úseky byly označeny pouze z hlediska pořadí od pramene po ústí, délka úseků ani říční kilometr nebyly při zobrazení zohledněny. Bodové hodnoty distanční metody byly převedeny na pětistupňovou škálu podle vztahu (1).





Obr. č. 29: Srovnávací analýza celkového hydromorfomorfologického stavu pomocí metod terénního průzkumu EcoRivHab a distančního vyhodnocení pomocí QuaWaDis

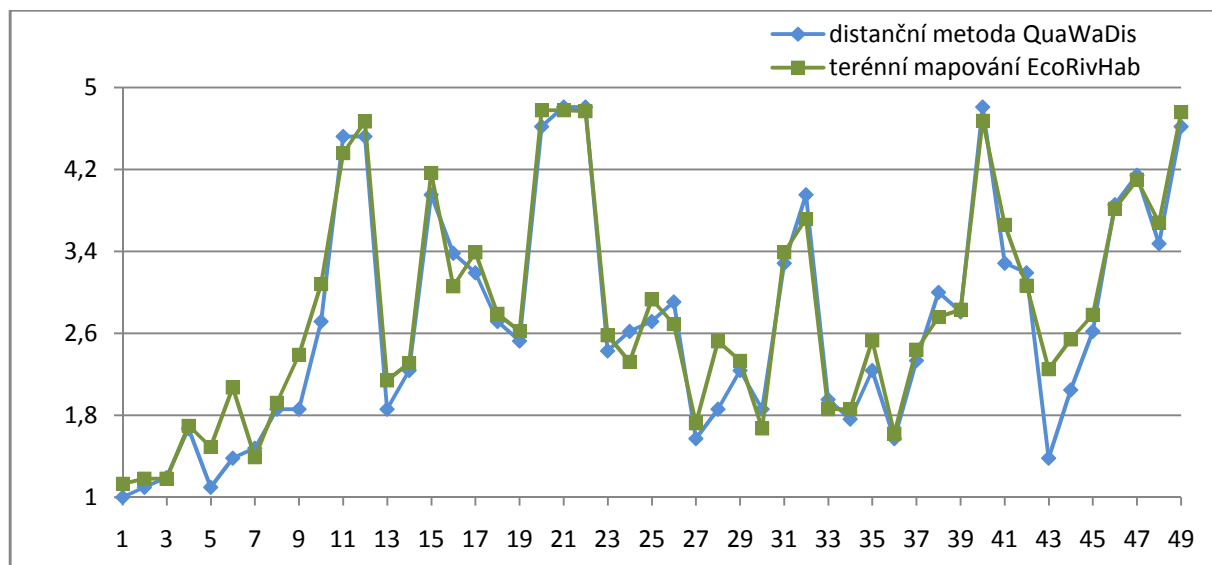
Z porovnání je zřetelný shodný trend v hodnocení, přičemž distanční metoda obecně zlepšuje výsledný hydromorfologický stav (v 95 % úseků). Místní rozdíly o více než jeden ES byly pravděpodobně zapříčiněny nepřesnostmi uvedenými v kapitole 9.4. Následné hodnocení kalibrace a použitelnosti distanční metody by mělo prokázat, zda jde o chyby v kalibraci metody, nebo zda rozdíly v hodnocení byly způsobeny nedostatečným vypovídacím potenciálem distančních podkladů.

## 9.6 Kalibrace distanční metody

V rámci posouzení správnosti kalibrace metody byly porovnávány výsledky QuaWaDis-EcoRivHab s výsledky EcoRivHab, tedy informace zjištěné během terénního mapování hodnocené podle dvou různých principů. Výsledky distanční metody byly přepočítány podle vzorce (1) na pětibodovou stupnici (rozmezí bodů <1;5>), přičemž jako hraniční pro zařazení do jednotlivých ES byly stanoveny hodnoty 1,8 b. pro I. ES; 2,6 b. pro II. ES; 3,4 b. pro III. ES; 4,2 b. pro IV. ES; a 5 b. pro V. ES. Jako hraniční hodnota v případě dělení toků podle potřeb RSV byla stanovena hodnota 2,6. Hranice jednotlivých tříd jsou vyznačeny v následujících obr.č. 29 a č. 30.

Z hlediska potřeb RSV byl v celkovém hydromorfologickém hodnocení ze 49 porovnávaných úseků pouze jeden úsek zařazen do jiné skupiny toků (viz obr. č. 30, úsek 19), přičemž bodový rozdíl mezi výsledky obou metod byl minimální (konkrétně byl rozdíl pouze 0,1 bodu).

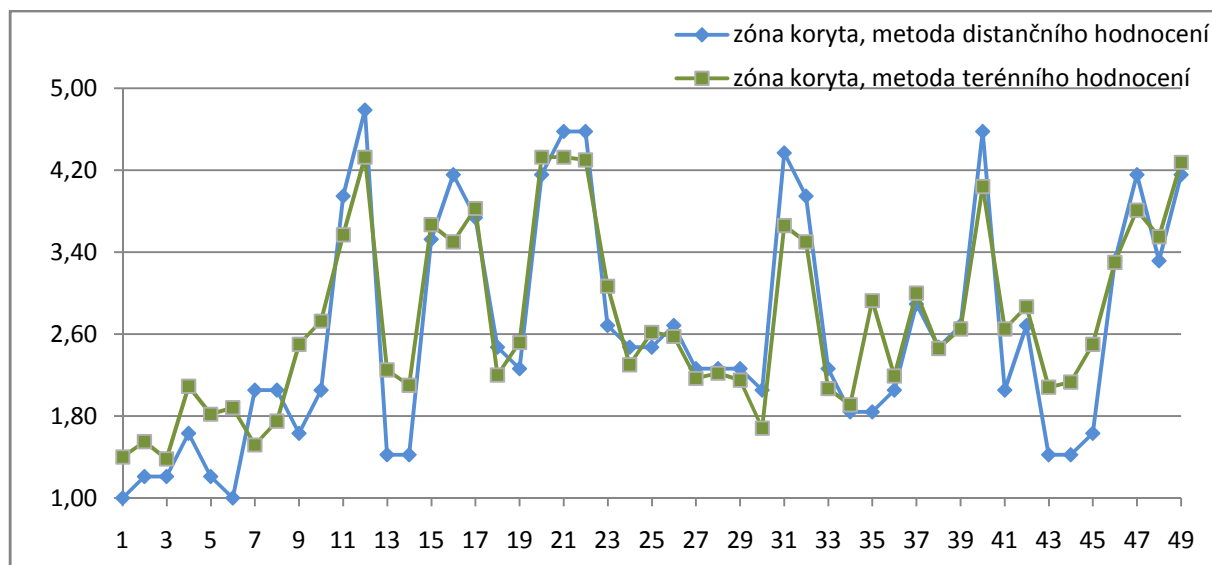
Z hlediska zařazení do stejného ES bylo v celkovém hodnocení 42 úseků zařazeno shodně (85 % shoda), pouze sedm úseků (15 % úseků) bylo zařazeno do jiného stupně. U čtyř rozdílně zařazených úseků (8 %) byl bodový rozdíl minimální (do 0,2 bodu), u tří úseků (6 %) pak šlo o bodový rozdíl v hodnocení 0,4 bodu; 0,7 bodu a 0,9 bodu.



Obr. č. 30: Přesnost kalibrace distanční metody posuzovaná na základě srovnávací analýzy s výsledky terénního mapování, celkové hydromorfologické hodnocení

Z provedené analýzy je zřejmé, že hodnocení celkového hydromorfologického stavu na podkladu hodnocení podle terénního i distančního principu mapování poskytuje v podstatě totožné výsledky. Rozdíly je možné vysvětlit chybou v převodu dat, který mohl být způsoben špatnou interpretací dat z terénního mapování.

V případě hodnocení samotné zóny koryta bylo sedm úseků (15 %) zařazeno do jiné skupiny toků, přičemž ve čtyřech (8 %) případech šlo opět o minimální rozdíly (do 0,2 bodu) a u třech úseků (6 %) byly identifikovány výraznější rozdíly (0,7 b.; 1,1 b. a 0,6 b.). Do odlišného ES pak bylo zařazeno 22 (45 %) úseků, z nichž u pěti úseků (10 %) byl bodový rozdíl do 0,2 bodu a u 14 (29 %) úseků do 0,8 bodu. Nejvyšší dosažený bodový rozdíl byl 1,1 bodu. Rozdíly v hodnocení jsou opět zobrazeny na následujícím obr. č. 31).



Obr. č. 31: Přesnost kalibrace distanční metody posuzovaná na základě srovnávací analýzy s výsledky terénního mapování, hodnocení zóny koryta vodního toku

Výraznější rozdíly v porovnání s výsledky celkového hydromorfologického stavu je možné vysvětlit nižším počtem parametrů, kdy odlišný princip hodnocení jednoho parametru má v rámci jedné zóny (koryta) výraznější vliv na výsledek, než v rámci celkového hodnocení za všechny zóny. Z grafů je také patrné zdůraznění extrémů v hodnocení distanční metody, která vychází z bipolárního principu ano/ne (-1/1) v porovnání s hodnocením míry na stupnici 1-5 v rámci terénní metody.

### 9.7 Přesnost distanční metody

Pro posouzení přesnosti distanční metody, tedy otázky zda je na základě distančních dat možné o sledovaném toku získat stejné informace jako během terénního mapování, byly porovnávány výsledky distanční metody QuaWaDis s výsledky terénního mapování přepočítané podle principu hodnocení distanční metody QuaWaDis-EcoRivHab. Dosažené hodnoty v hodnocení celkového hydromorfologického stavu se pro hlavní tok Rolavy pohybovaly v intervalu  $\langle -24; 18 \rangle$ , v hodnocení zóny koryta toku v intervalu  $\langle -12; 7 \rangle$  bodů.

Jako hraniční hodnota v případě dělení toků podle potřeb RSV byla stanovena nulová hodnota. Úseky toků s kladným bodovým ohodnocením byly označeny jako úseky v dobrém, nebo velmi dobrém ekologickém stavu. U úseků se záporným hodnocením, které dobrého ekologického stavu nedosahují, je nutné změnit koncept ochrany a využití koryta toku i jeho zázemí (záplavové zóny).

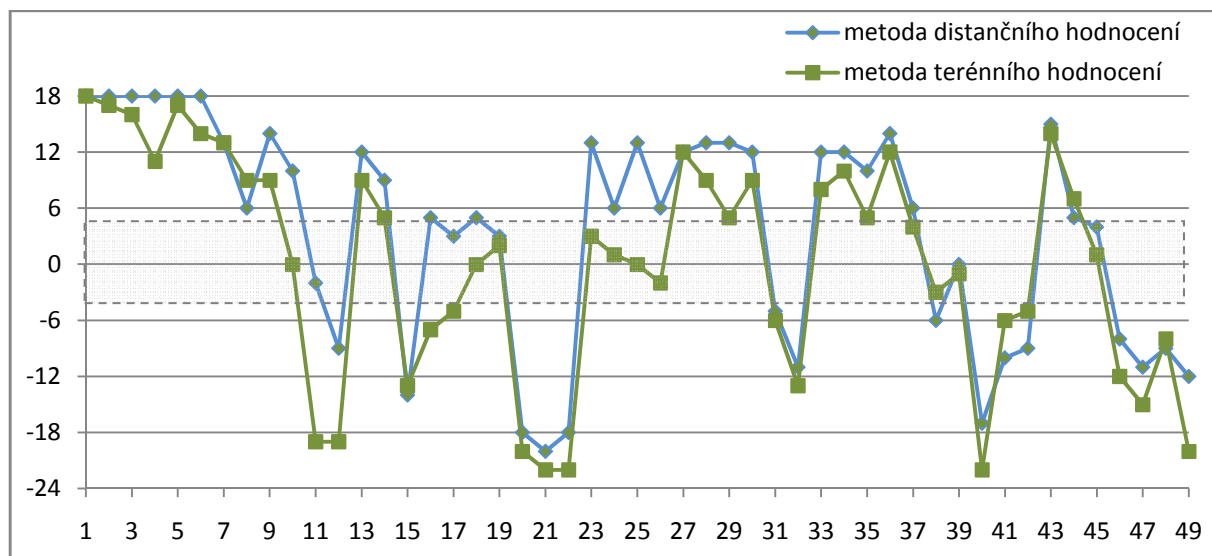
Kromě výše uvedených skupin toků byla pro potřeby distanční metody definována i tzv. kandidátní třída pro ty úseky toku, kde výsledky distančního hodnocení neposkytly dostatečné informace nebo jednoznačné hodnocení hydromorfologického stavu toku. Do této třídy byly zařazeny úseky toků, jejichž výsledná bodová hodnota se lišila od nulové hodnoty maximálně o 10 % z celého bodového rozpětí. Např. bodové rozpětí v zóně koryta toku je 19b. a pro kandidátní třídu, resp. kandidátní úseky byl stanoven interval  $\langle -2; 2 \rangle$  bodů.

Z hlediska dělení toků pro potřeby RSV byly v případě celkového hydromorfologického hodnocení pouze dva úseky (4 %) zařazeny do jiné skupiny, přičemž u jednoho úseku šlo o bodový rozdíl osmi bodů (úsek 26) a u druhého o bodový rozdíl 12 bodů (úsek 16), viz obr. č. 32. Pět úseků (10 %) bylo zařazeno do kandidátní třídy a 42 (86 %) úseků bylo zařazeno do stejné třídy jako během terénního mapování.

Oba úseky, u kterých nedošlo ke shodnému zařazení, byly distanční metodou ohodnoceny kladně a terénní metodou záporně. Hlavní rozdíly byly zaznamenány v hodnocení břehové vegetace, existence a charakteru DVP a parametru změny charakteru průběhu toku krajinou.

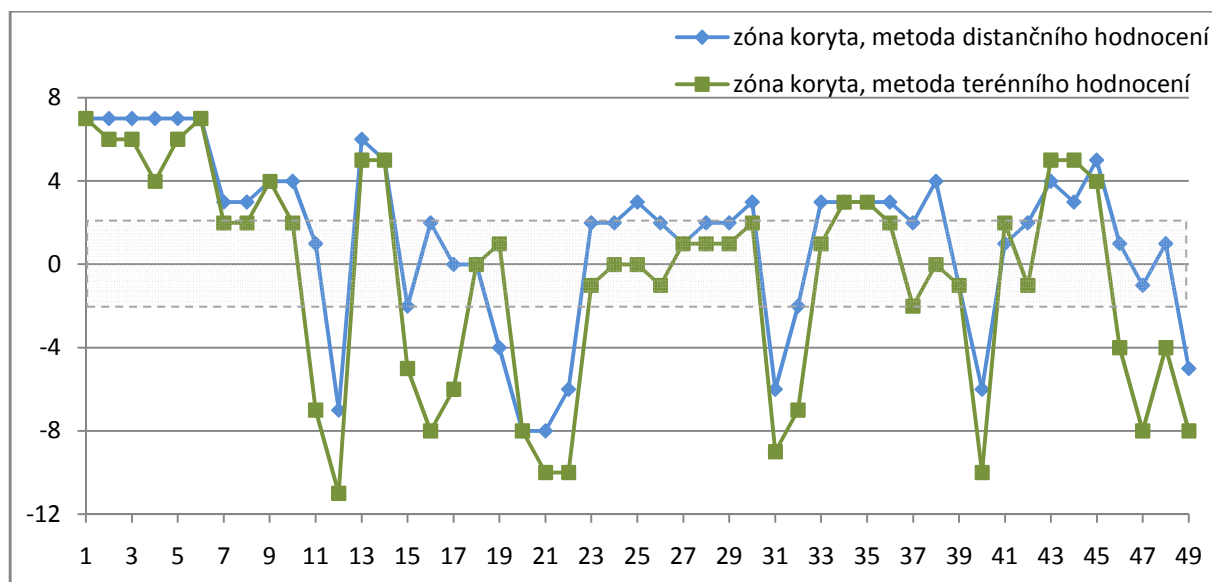
Bodové hodnocení celkového hydromorfologického stavu má rozsah 42 bodů, bodové rozmezí v rámci jednoho hydromorfologického stupně je tedy 8 bodů. Většího než osmibodového rozdílu bylo dosaženo u šesti úseků (12 %). Konkrétně byl u třech úseků bodový rozdíl 10b. (ROL10, ROL12, ROL23), a po jednom úseku bylo dosaženo bodového rozdílu 12b. (ROL16), 13b. (ROL25) a 17b. (ROL 11).

U uvedených šesti úseků byly bodové rozdíly způsobené rozdílným hodnocením břehové vegetace, existence a charakteru DVP, charakteru landuse v záplavové zóně, změně charakteru průběhu toku krajinou a ovlivnění odtoku.



Obr. č. 32: Srovnávací analýza výsledků terénního a distančního hodnocení výsledného hydromorfologického stavu s vyznačením oblasti kandidátních hodnot, ověření vypovídací schopnosti distančních dat

V rámci hodnocení zóny koryta toku byl pouze jeden úsek zařazen do jiné skupiny toků (úsek 16). Hlavní rozdíly v hodnocení bylo již zmiňované odlišné hodnocení břehové vegetace a změny charakteru průběhu toku krajinou. Do kandidátní třídy bylo zařazeno 19 úseků (39 %) a shodně v rámci obou metod bylo hodnoceno 29 úseků (59 %), viz obr. č. 33.



Obr. č. 33: Srovnávací analýza výsledků terénního a distančního hodnocení v zóně koryta vodního toku s vyznačením oblasti kandidátních hodnot, ověření vypovídací schopnosti distančních dat

Z obr. 32 a 33 je zřetelné, že hodnocení na základě datových podkladů poskytuje vyšší výsledné hodnoty hydromorfologického stavu, distanční metoda tedy v modelovém povodí obecně zlepšuje výsledky. To je dáno především tím, že do terénního mapování je zahrnuto i

antropogenní ovlivnění, které na distančních podkladech viditelné není. V hodnocení toků, které svou velikostí odpovídají toku Rolavy, je možné toto označit za nedostatek distančních dat. Pro větší toky, pro které byla distanční metoda primárně definována, však skutečnosti které svým rozsahem nejsou na obrazových datech viditelné, nemají z hlediska hodnocení na hydromorfologický stav toku zásadní vliv.

### ***9.8 Porovnání výsledků terénního a distančního mapování pomocí nástrojů shlukové analýzy***

Výsledky terénního i distančního mapování byly porovnány pomocí nástrojů extenze XLSTAT 2011 pro MS Excel pracující na principu shlukové analýzy. Konkrétně byla použita AHC (agglomerative hierarchical clustering) analýza dat, která kromě zařazení jednotlivých pozorování (úseků toku) do předem definovaného počtu shluků poskytuje i deskriptivní statistické informace o shlucích a jejich středech.

Shluková analýza byla použita pro samostatné soubory výsledků terénního hodnocení (EcoRivHab), distančního hodnocení (QuaWaDis) a informací z terénního mapování převedených na princip distančního hodnocení (QuaWaDis-EcoRivHab). Z důvodu rozdílného principu a systému hodnocení a míry detailnosti vstupních dat mají jednotlivé soubory různý rozsah hodnot a proto i kvalitativní vymezení jednotlivých tříd je rozdílné (úseky se přirozeně neshlukují do kvalitativně stejných tříd) a třídy mezi soubory jsou tedy vzájemně neporovnatelné. V rámci posouzení výsledků shlukové analýzy mezi třemi různými soubory tedy byly vybrány pouze takové třídy, které se sobě kvalitativně blíží. Kvalitativní charakter jednotlivých shluků (tříd) je zapsán pomocí bodových hodnot parametrů v tab. č. 19, vzájemně porovnatelné třídy jsou v tabulce barevně vyznačeny.

Pro porovnání zařazení všech úseků do kvalitativních tříd byly výsledky hodnocení QuaWaDis a QuaWaDis-EcoRivHab sloučeny do jednoho souboru a shluková analýza byla použita na tento jeden soubor dat. Byla tak zaručena shodnost kvalitativního vymezení jednotlivých tříd (shluků) a vzájemná porovnatelnost výsledků dvou systémů hodnocení. Statistické hodnoty popisující umístění centrálního objektu jednotlivých shluků jsou uvedeny v tab. č. 19.

Na základě definice kvalitativního charakteru jednotlivých shluků pomocí hodnot centrálního objektu bylo ve všech třech souborech výsledků hodnocení možné shodně identifikovat pouze třídy charakterizované v rozsahu hodnot odpovídajících přírodním/přírodě blízkým úsekům (PB) a výrazně antropogenně ovlivněným úsekům (AO). Shluky jsou barevně vyznačeny v tab. č. 19. Porovnání správnosti zařazení je uvedeno v následující tabulce č.20. Do porovnání byly zahrnuty pouze takové úseky, které aspoň v jednom souboru hodnocení byly zařazeny do třídy shlukující přírodní/přírodě blízké, nebo výrazně antropogenně upravené úseky. Celkem bylo porovnáváno 29 úseků

Tab. č. 19: Bodové hodnoty všech porovnávaných přístupů popisující umístění a kvalitativní charakter jednotlivých shluků

metoda hodnocení		QuaWaDis					QuaWaDis-EcoRivHab					QuaWaDis + QuaWaDis-EcoRivHab				
parametr hodnocení	bodový rozsah	A.	B.	C.	D.	E.	A.	B.	C.	D.	E.	A.	B.	C.	D.	E.
upravenost koryta	<-1;0>	0	0	0	-1	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1	-1
zhloubení koryta	<-1;0>	0	0	-1	-1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1	0
změna trasy toku	<-2;1>	1	1	1	0	-1	0	1	-2	0	1	1	0	0	-2	1
stupně v podélném profilu	<-2;0>	0	0	0	-1	0	0	-1	0	-1	0	0	-1	-1	0	0
projevy eroze	<-2;1>	0	-1	0	-2	1	0	0	-2	0	-2	0	0	0	-2	1
přítomnost akumul. tvarů	<-1;2>	0	2	0	2	1	0	0	-1	0	1	0	0	0	1	1
variabilita šířek	<-1;1>	0	0	0	-1	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1	0
charakter břehové vegetace	(levý břeh)	<-1;1>	1	1	1	-1	1	0	-1	0	0	1	1	0	-1	0
	(pravý břeh)		1	1	1	-1	1	0	-1	0	0	1	1	0	-1	0
existence DVP	(levý břeh)	<-2;2>	2	1	2	-2	-2	2	0	-2	0	2	2	0	-2	0
	(pravý břeh)		2	2	-2	-2	-2	2	0	2	0	2	2	0	-2	0
charakter vegetace DVP	(levý břeh)	<-1;1>	1	0	1	-1	-1	0	0	-1	0	1	0	0	-1	-1
	(pravý břeh)		1	1	1	-1	-1	0	0	-1	0	1	0	0	-1	-1
využití území záplavové zóny	(levý břeh)	<-2;2>	2	-1	2	-2	-1	1	-2	-2	1	2	-2	1	-2	-2
	(pravý břeh)		2	2	-1	-2	-2	1	2	-2	-2	2	2	-2	-2	-2
možnosti retence	<-1;1>	1	1	0	-1	-1	1	1	-1	1	1	1	1	1	-1	-1
ovlivnění odtoku	<-1;0>	0	0	0	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1

metoda hodnocení		EcoRivHab							EcoRivHab						
parametr hodnocení		bodový rozsah	A.	B.	C.	D.	E.	parametr hodnocení		bodový rozsah	A.	B.	C.	D.	E.
charakter a tvar koryta		<1;5>	1	1	5	4	4	zhloubení koryta		<1;5>	3	3	5	4	4
propojení s podzemní vodou		<1;5>	1	1	3	3	1	typ úpravy		<1;5>	1	1	1	5	5
charakter proudění		(1;3;5)	1	1	5	5	1	variabilita hloubek		<1;5>	1	1	5	5	1
charakter odtoku		(1;3;5)	1	1	3	3	5	typ profilu		<1;5>	3	4	5	5	3
variabilita šířek		(1;3;5)	1	3	5	5	5	dimenzování koryta		<1;5>	1	3	5	3	3
úprava dna		<1;5>	1	1	3	3	2	mikrohabitat		<1;5>	5	5	5	5	5
vegetace břehů	(levý břeh)	<1;5>	1	3	5	3	5	struktura vegetace břehů	(levý břeh)	<1;5>	1	3	5	2	5
	(pravý břeh)		1	3	5	3	5		(pravý břeh)		1	3	5	2	5
technické úpravy břehů	(levý břeh)	<1;5>	1	2	5	4	3	přítomnost DVP	(levý břeh)	(1;3;5)	1	3	5	3	3
	(pravý břeh)		1	2	5	4	3		(pravý břeh)		1	3	5	3	3
vegetace DVP	(levý břeh)	<1;5>	2	3	5	4	3	využití ploch DVP	(levý břeh)	<1;5>	2	3	5	5	1
	(pravý břeh)		2	2	5	3	3		(pravý břeh)		2	3	5	3	3
využití údolní nivy	(levý břeh)	<1;5>	2	3	5	5	3	protipovodňová opatření		<1;5>	1	1	5	5	3
	(pravý břeh)		2	3	5	5	3	retence nivy		(1;3;5)	1	1	5	5	3

Tab. 20: Porovnání zařazení úseku do shluku charakterizované v rámci tří hodnotících přístupů do přírodní/přírodě blízké (PB) třídy, nebo výrazně antropogenně ovlivněné (AO) třídy. V případě rozdílného zařazení byla uvedena pouze souhrnně jiná (J) třída bez jejích kvalitativních hodnot.

úsek toku	QuaWaDis	EcoRivHab	QuaWaDis-EcoRivHab	úsek toku	QuaWaDis	EcoRivHab	QuaWaDis-EcoRivHab
ROL01	PB	PB	PB	ROL22	AO	AO	AO
ROL02	PB	PB	PB	ROL23	PB	J	PB
ROL03	PB	PB	PB	ROL25	PB	J	J
ROL04	PB	PB	PB	ROL27	PB	PB	PB
ROL05	PB	PB	PB	ROL28	PB	PB	PB
ROL06	PB	PB	PB	ROL29	PB	PB	J
ROL07	PB	PB	PB	ROL30	PB	PB	PB
ROL08	J	PB	PB	ROL33	PB	PB	PB
ROL09	PB	J	PB	ROL34	PB	PB	PB
ROL11	J	AO	AO	ROL35	PB	J	PB
ROL12	J	AO	AO	ROL36	PB	PB	PB
ROL13	J	PB	J	ROL37	J	J	PB
ROL15	AO	J	J	ROL40	AO	AO	AO
ROL20	AO	AO	AO	ROL49	AO	AO	AO
ROL21	AO	AO	AO				

Z hlediska kalibrace metody (porovnání EcoRivHab s QuaWaDis-EcoRivHab) bylo shodně v rámci obou souborů do třídy přírodě blízkých úseků zařazeno 14 úseků, přičemž celkem byla tato třída identifikována u 20 různých úseků (70% shoda). V případě antropogenně ovlivněných úseků byl tento charakter identifikován v obou souborech u 7 stejných úseků (100% shoda).

Z hlediska určení přesnosti distanční metody (porovnání QuaWaDis s QuaWaDis-EcoRivHab) pak byl přírodě blízký charakter identifikován u 20 úseků, z nichž u 16 shodně (80% shoda), v případě třídy charakterizující antropogenně ovlivněné úseky pak bylo shodně označeno 5 úseků z celkových 8 zařazených v obou souborech (62,5% shoda).

V rámci přímého porovnání výsledků distanční a terénní metody (QuaWaDis s EcoRivHab) pak bylo v případě přírodě blízkých úseků shodně zařazeno 14 úseků z celkových 20 identifikovaných úseků (70% shoda) a u antropogenně ovlivněných úseků bylo shodně zařazeno 5 úseků z celkem 8 úseků identifikovaných v rámci obou souborů (62,5 % shoda).

Rozdíly v zařazení úseků do jednotlivých kvalitativních tříd jsou způsobeny jednak rozdílem mezi terénním a distančním hodnocením vodních toků a zároveň i rozdílnou kvalitativní charakteristikou porovnávaných tříd v rámci souborů.

V následující tab. č.21 je zapsáno porovnání výsledků shlukové analýzy jediného souboru výsledků distanční metody (QuaWaDis) a informací z terénního mapování převedených na

princip distančního hodnocení (QuaWaDis-EcoRivHab). Výsledky obou porovnávaných souborů jsou shlukovány do stejných tříd, kvalitativní charakteristiky těchto shluků jsou zapsány v tab. 19 pomocí bodových hodnot pro jednotlivé parametry.

Tab. č. 21: Výsledky shlukové analýzy v rámci jediného souboru, charakter jednotlivých shluků je popsán pomocí hodnot jednotlivých parametrů v tab. 19.

úsek toku	QuaWaDis	QuaWaDis-EcoRivHab	úsek toku	QuaWaDis	QuaWaDis-EcoRivHab	úsek toku	QuaWaDis	QuaWaDis-EcoRivHab
ROL01	A	A	ROL18	C	C	ROL34	A	A
ROL02	A	A	ROL19	B	B	ROL35	A	A
ROL03	A	A	ROL20	D	D	ROL36	A	A
ROL04	A	A	ROL21	D	D	ROL37	C	A
ROL05	A	A	ROL22	D	D	ROL38	E	E
ROL06	A	A	ROL23	A	A	ROL39	C	B
ROL07	A	A	ROL24	C	C	ROL40	D	D
ROL08	A	A	ROL25	A	B	ROL41	E	E
ROL09	A	A	ROL26	C	C	ROL42	E	E
ROL10	B	B	ROL27	A	A	ROL43	A	A
ROL11	B	D	ROL28	A	A	ROL44	C	C
ROL12	B	D	ROL29	A	B	ROL45	E	E
ROL13	B	B	ROL30	A	A	ROL46	E	D
ROL14	C	C	ROL31	C	C	ROL47	E	E
ROL15	D	E	ROL32	E	E	ROL48	E	E
ROL16	C	C	ROL33	A	A	ROL49	D	D
ROL17	C	C						

Z tab. vyplývá, že z 49 sledovaných úseků bylo pouze 8 úseků (16 %) zařazeno do jiné třídy (úseky v tabulce barevně vyznačeny), přičemž z hlediska kvality úseku je zásadní pouze rozdílné zařazení mezi třídami B a D (úseky ROL11 a ROL12). Třída B představuje úseky s mírným antropogenním ovlivněním (drobné stupně v korytě a kulturní louka na levém břehu toku), oproti tomu třída D představuje úseky s výrazným antropogenním ovlivněním koryta toku, DVP a záplavového území. Úseky ROL11 a ROL12 dosáhly také vysokého bodového rozdílu (17 b. a 10 b.) v rámci hodnocení přesnosti distanční metody (viz kap. 9.7).

V obou přístupech (shluková analýza i hodnocení přesnosti) byly úseky pomocí distanční metody hodnoceny jako méně antropogenně ovlivněné než na základě informací z terénního mapování. Tyto úseky se nacházejí v obci Nové Hamry, kromě rozdílného hodnocení upravenosti koryta toku a přirozených fluvialních procesů se hodnocení lišilo i v hodnocení charakteru břehové vegetace, existence DVP na pravém břehu toku a využití záplavové zóny na levém břehu toku. Důvodem rozdílného hodnocení mohou být místní úpravy koryta, konkrétně vyhrabávání a odstraňování šterkového materiálu z koryta toku. Tento fakt nebyl na distančních podkladech a v rámci hodnocení zohledněn.



Rozdílné zařazení mezi třídami A a B (úseky ROL25 a ROL29) signalizuje detekci příčných stupňů v korytě během terénního mapování, které nebyly identifikovány v rámci distanční metody, rozdílné hodnocení charakteru vegetace DVP na obou březích a charakteru vegetace záplavové zóny na levém břehu toku. V rámci hodnocení přesnosti distanční metody byl bodový rozdíl v těchto úsecích 13b. a 8b.

Úsek ROL37 byl shlukovou analýzou na základě informací z terénního mapování zařazen do kvalitativně lepší třídy než v rámci distančního hodnocení. V porovnání s informacemi z terénního mapování byly jako antropogenně ovlivněné v tomto úseku na základě distanční metody hodnoceny parametry využití záplavové zóny na pravém břehu toku, možnosti retence v záplavové zóně a ovlivnění odtoku. V rámci hodnocení přesnosti distanční metody byl v tomto úseku bodový rozdíl jen minimální (2b.).

Kvalitativní rozdíl mezi třídami C:B a D:E je pouze v míře antropogenního ovlivnění, nebo v rozdílném hodnocení charakteru břehové vegetace a existence DVP, v rámci hodnocení přesnosti distanční metody byl bodový rozdíl jen minimální (1b.).

V kapitole diskuze je porovnávána vypovídací hodnota jednotlivých parametrů hodnocení v rámci terénního i distančního hodnocení z hlediska jejich objektivity.

## 10 Modelové území Kalinova Ves

V modelovém území Kalinova Ves bylo testováno zpracování obrazu leteckých snímků pomocí nástrojů objektové klasifikace v rámci extenze Feature Analyst pro ArcGIS (dále jen FA). Pro testování byla použita mozaika dvou leteckých snímků pořízených nad CHKO Křivoklátsko v okolí obce Kalinova Ves. Modelové území má rozlohu 10 km<sup>2</sup> (2, 5 x 4 km), prostorové rozlišení 1 m a bylo nasnímáno ve dnech 20.6.2002 a 15.8.2002. Testována byla přesnost objektové klasifikace a efektivita zpracování. Výsledky byly publikovány v rámci článku „Accuracy assessment and classification efficiency of object-based image analysis of aerial imagery“ (Králová, 2013).

V rámci této práce nebyly výsledky klasifikace dále použity a v modelovém území neproběhlo hydromorfologické hodnocení. Z toho důvodu je zde představen pouze charakter dat.

### 10.1 Charakter dat

Modelové území bylo vybráno z důvodu charakteru klasifikovaných objektů na obrazových datech, které je typické pro snímky současné zemědělské krajiny, která lemuje většinu délky středních a dolních toků českých řek. Objekty na snímcích jsou heterogenní jak v rámci jedné klasifikované kategorie, tak i v rámci jednotlivých objektů. Zároveň jsou různé kategorie reprezentovány podobným intervalem hodnot pixelů, a z toho důvodu jsou pouhým definováním radiometrických hodnot pomocí nastavení trénovacích ploch nerozpoznatelné.

Na obr. č. 34 je zobrazen výřez z mozaiky leteckých snímků, kde je zřetelná vnitřní heterogenita jednotlivých objektů (pole jsou částečně holá a částečně pokryta plodinami) a jejich vzájemná odlišnost (na některých polích jsou různě vzrostlé zemědělské plodiny, jiná jsou zoraná). Zároveň je zde zřetelná podobnost mezi různými kategoriemi krajinného krytu (např. komunikace vs. části zoraných polí, nebo louka vs. zarostlé plochy polí, atd.).



Obr. č. 34: Heterogenita v rámci jedné kategorie krajinného krytu  
Zdroj: Správa CHKO Křivoklátsko

## 10.2 Objektová klasifikace pomocí extenze *Feature Analyst*

Extenze *Feature Analyst* pracuje na základě definice trénovacích ploch vymezených v obraze. Segmentace obrazu probíhá současně s klasifikací a to postupně pro každou třídu krajinného krytu zvlášť. Součástí klasifikace je i tzv. rozpoznávání objektů.

Pomocí trénovacích ploch je definována homogenita a interval hodnot pixelů, který je pro danou třídu krajinného krytu typický. Jednotlivé objekty, které definovaným podmínkám odpovídají, jsou v obraze detekovány pomocí filtračního okna. To je možné velikostně a tvarově upravit s ohledem na charakter objektů, které jsou v obraze hledány. Malá filtrační okna, která postihnou detaily, jsou vhodné pro prostorově menší objekty – např. budovy, komunikace, stavby v korytech toků, solitérní stromy a menší skupinky vegetace. Velká filtrační okna, která detaily potlačují, jsou naopak vhodná pro plošně rozsáhlé objekty – např.



pole, louky, lesní komplexy atd. Podle Dobrovolného (1998) filtrační okna detekují v obraze objekty o rozměrech větších, než je poloviční velikost okna.

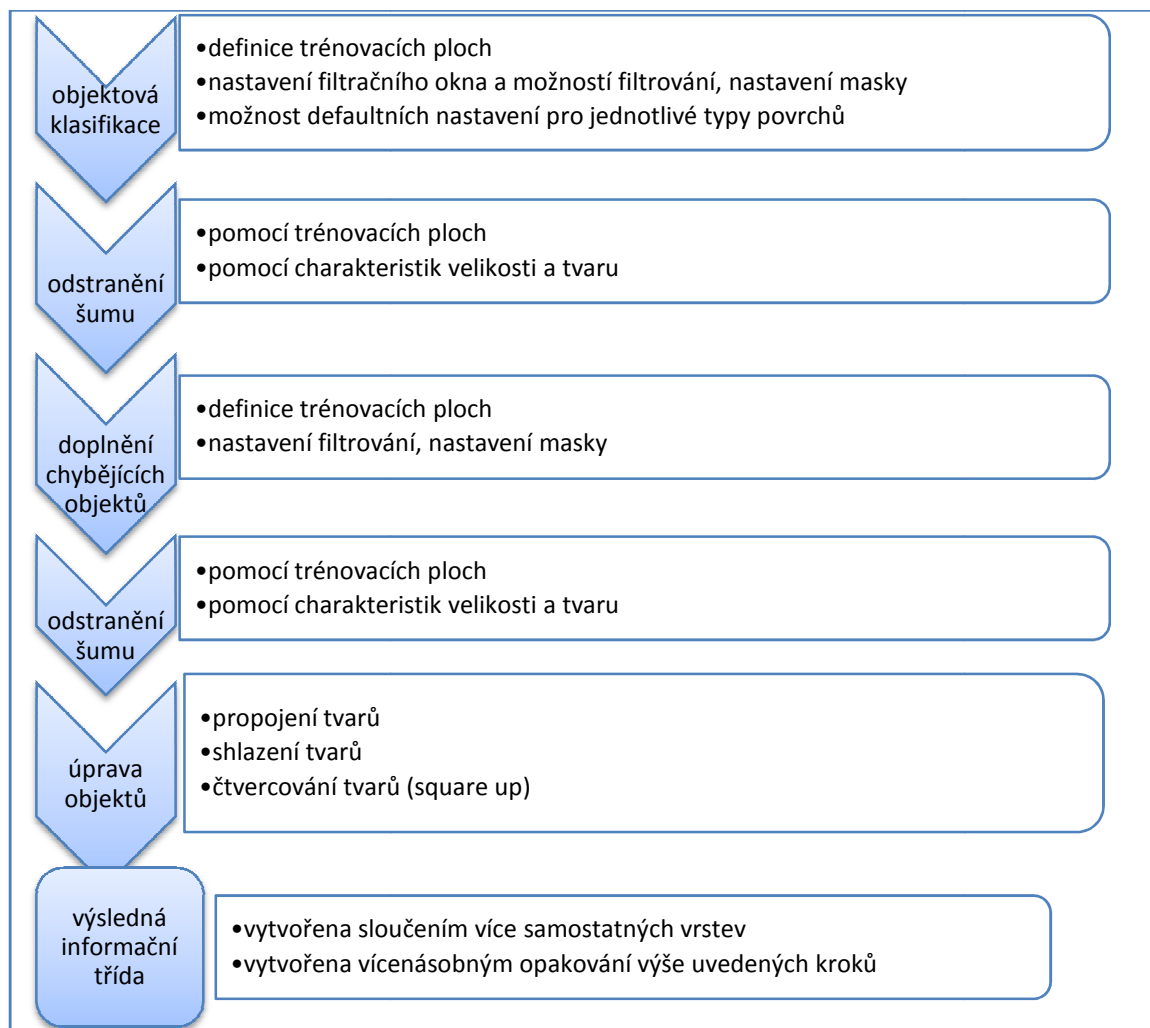
V první fázi klasifikace jsou v obraze detekovány všechny objekty, které odpovídají podmínkám nastaveným pomocí trénovacích ploch. Jde o tzv. radiometrické třídy, které však nejsou totožné s třídami krajinného krytu (informačními třídami). Na obr. č. 35 jsou zobrazeny trénovací plochy, které byly nastaveny pro detekci trvalých travních porostů (1) a výsledek na nich založené objektové klasifikace (2). Kromě travnatých ploch zde byl detekován i šum - objekty v lese, zelené plochy na poli, nebo zahrádky. Šum je možné automaticky odstranit opět na základě DN hodnot pixelů, nebo pomocí charakteristik tvaru a velikosti objektů. Výsledkem je vrstva objektů klasifikované informační třídy (3). Podle Opitze (Opitz, 2008) je kombinace technik, které pracují jak se spektrální (radiometrickou) hodnotou pixelů, tak s prostorovými parametry objekty, nazývána „rozpoznávání objektů“.

V případě zobrazeném na obr. č. 35 byl šum z výsledků objektové klasifikace odstraněn ve dvou krocích pomocí charakteristik tvaru a velikosti – konkrétně šlo o kombinace charakteristik kompaktnosti ploch, velikosti ploch, počtu vrcholů a momentu 2. řádu (Second Order Moments, VLS, 2009).



Obr. č. 35: Postup objektové klasifikace pomocí extenze Feature Analyst – zadání trénovacích ploch (1), primární výsledek klasifikace (2) a jeho podoba po odstranění šumu pomocí rozpoznávání objektů (3).

Popsaný postup objektové klasifikace informačních tříd většinou nezajistí detekci všech objektů v obraze, které k dané třídě náleží na základě pouze jedné sady trénovacích ploch. Na obr. č. 36 je znázorněn postup vedoucí k vytvoření vrstvy pro jednu informační třídu. Jednotlivé kroky postupu je možné opakovat v rámci jedné samostatné vrstvy, vhodnější je však vytvořit několik samostatných vrstev a ty pak sloučit v jednu výslednou.



Obr. č. 36: Soubor kroků vedoucích k vytvoření jedné informační třídy

Přesnost výsledků, časová náročnost a pracnost objektové klasifikace je velice silně závislá na správné definici trénovacích ploch. Při volbě ploch platí, že čím jednodušší zadání, tím ucelenější výsledky. Vhodné je proto v první fázi definovat plochy, které jsou pro danou informační třídu charakteristické (části velkých a nezastíněných homogenních ploch). Vzhledem k výsledkům objektové klasifikace pak postupně přidávat do trénovacího souboru plochy, které byly v prvním zpracování vynechány a sledovat, jak se výsledky klasifikace změní. Pokud jsou trénovací plochy voleny správně, měla by plocha detekovaná v obraze narůstat. V případě, že plochy, které byly dříve správně detekovány, po přidání trénovacích ploch již detekovány nejsou, je pravděpodobné, že jednotlivé trénovací plochy mají natolik odlišnou radiometrickou hodnotu pixelů, že se navzájem ze zpracování vylučují. V takovém případě je vhodné rozdělit trénovací plochy do více souborů, které budou klasifikovány samostatně.

Pomocí nástrojů objektové klasifikace je možné v obraze detekovat objekty, které jsou bez úpravy obrazu, pouhým okem nezřetelné. Na následujícím obrázku č. 37 je zobrazen letecký snímek zachycující louku v povodí Blanice v neupravené podobě (1) a ve zvýrazněné podobě

(2). Ve zvýrazněné podobě je na snímku vidět nejasný náznak kruhů, které byly pomocí objektových klasifikací zřetelně detekovány (3).



Obr. č. 37: příklad citlivosti objektových klasifikací, data z povodí Blanice

### 10.3 Metody výpočtu přesnosti klasifikace

Klasické metody určení přesnosti verifikují výsledky klasifikace vůči skutečné situaci. K vlastnímu vyhodnocení přesnosti se používá výpočet proporciální chyby, resp. přesnosti, kappa index (Dobrovolný, 1998 in Hanzlová a kol., 2007) a další metody, jejichž základem je zkoumání shody mezi dvěma výběrovými vzorky, kde jeden je zjištěn v terénu (a musí být zjištěn nezávisle) a druhý je výsledkem klasifikace na stejných místech (Hanzlová a kol, 2007).

Přesnost klasifikace je tradičně hodnocena v rámci referenčního souboru objektů. Pomocí chybových matic je přesnost spočítána pro každou klasifikační kategorii z hlediska zpracovatele a z hlediska uživatele. *Přesnost zpracování* udává, s jakou pravděpodobností byl objekt reálného světa (zachycený na obrazových datech) klasifikován správně, *uživatelská přesnost* udává, s jakou pravděpodobností odpovídá vektorový objekt objektu reálného světa (Russell, 1991).

Počet referenčních objektů je vždy v rámci studie omezen a bývá kompromisem mezi tendencí co nejpresnějšího zhodnocení a časovou efektivitou (Grenier, 2008). Konkrétní počty se pohybují v rámci desítek a stovek referenčních vzorků. Např. Huang (2008) použil 257 referenčních objektů, Xiaoxia (2005) určoval přesnost na základě 65 kontrolních bodů. Možnosti exaktního určení a výpočtu minimálního počtu referenčních bodů ve své práci hlouběji diskutoval Grenier (2008).

V modelovém území byly použity dva přístupy k výpočtu přesnosti – tradiční přístup a přístup, který vychází z fuzzy hodnocení podle Sarmento a kol. (Sarmento, 2008). Fuzzy hodnocení je založeno na vytvoření referenčního souboru objektů, kde je ke každému objektu přiřazeno více možných kategorií krajinného krytu – primární referenční třída a alternativní referenční třída, ke každé třídě je pak definován index příslušnosti.

### 10.4 Postup zpracování obrazových dat v modelovém území

Klasifikace kategorií využití krajiny definovaných pro potřeby hydromorfologického hodnocení probíhala od velkých heterogenních ploch po malé homogenní plochy. V první fázi klasifikace byly v obraze cíleně hledány plošně rozsáhlé objekty (les, pole, louka, vodní

plochy, skupinová vegetace) a jednoznačně detekovatelné objekty (komunikace, zástavba). Výsledné vrstvy pro tyto kategorie obsahují (v porovnání s ostatními kategoriemi) menší počet objektů, které jsou plošně rozsáhlejší, nebo se svojí rozlohou blíží rozloze objektů reálného světa. U těchto kategorií je možné očekávat vysokou přesnost zpracování i uživatelskou přesnost.

V druhé fázi klasifikace byly v obraze hledány plošně menší objekty (zahrady, solitérní stromy), které nejsou typické z hlediska svého spektrálního chování, ale odlišují se na základě charakteristik velikosti a tvaru. Kromě hledaných objektů byly v rámci klasifikace k těmto kategoriím přiřazeny i tzv. zbytkové plochy (menší plochy uprostřed velkých heterogenních objektů). Vektorové vrstvy těchto kategorií obsahují velké množství plošně malých objektů. Vysoký počet „zbytkových ploch“ způsobil nízkou uživatelskou přesnost, oproti tomu přesnost zpracování je relativně vysoká. To znamená, že vysoké procento např. zahrad v modelovém území bylo v obraze identifikováno správně, ale nízké procento vektorových objektů, které představují zahrady, opravdu zahradou je.

Pořadí klasifikace jednotlivých kategorií bylo následující:

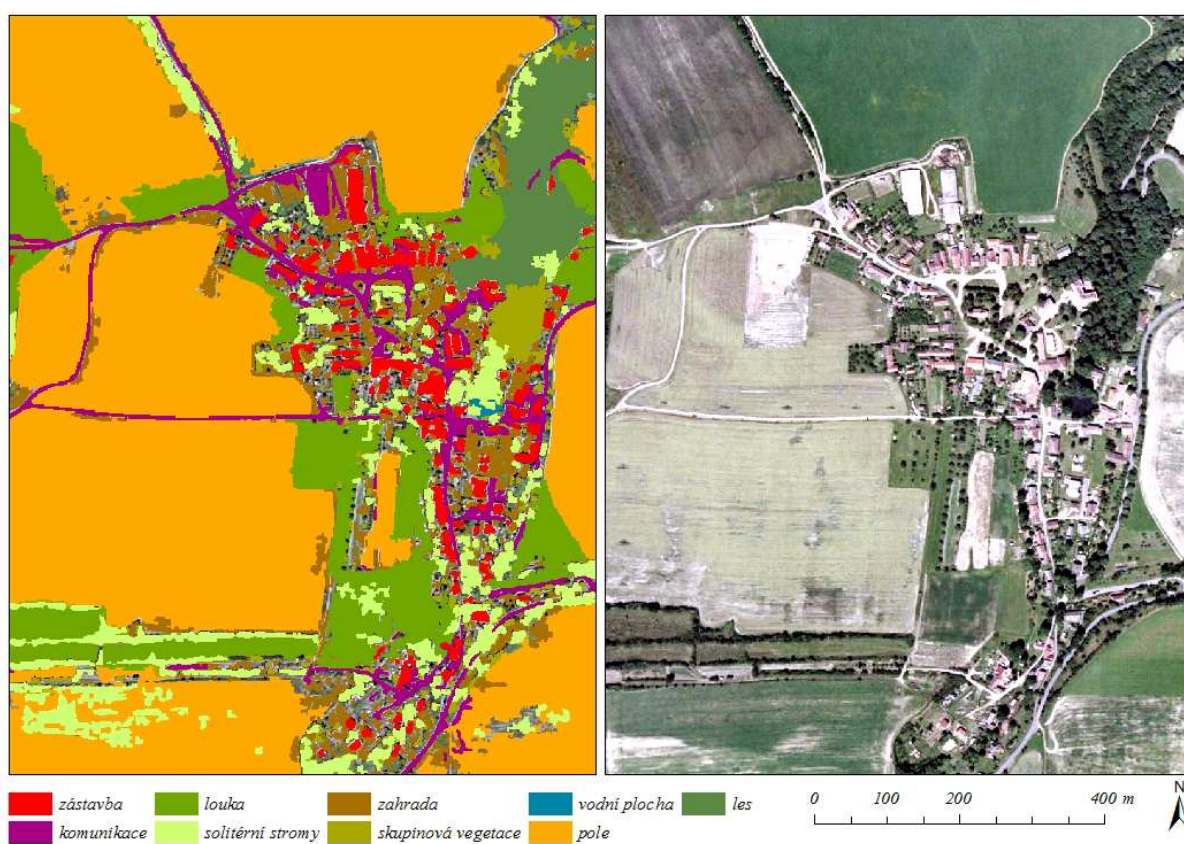
- vodní plochy – v obraze se nachází pouze tok Berounky a dvě menší vodní plochy. Z toho důvodu byly trénovací plochy zadány široce tak, aby byla detekována celá plocha hladiny a zároveň zůstala vodní hladina vůči svému okolí kontrastní. Výsledkem klasifikace byla vrstva o 936 objektech, kde kromě zdařilé klasifikace vodních ploch byly vymezeny i objekty polí a lesů. Vzhledem k tomu, že vodním plochám odpovídalo pouze šest objektů, byly tyto plochy do samostatné vrstvy manuálně vybrány. Uživatelská přesnost by tudíž měla být 100 %.
- les - na základě definice trénovacích ploch byly kromě lesů vymezeny i objekty liniové vegetace podél toků a pole porostlá hospodářskými plodinami. Tyto chybně klasifikované plochy byly odstraněny pomocí tvarových a velikostních charakteristik rozpoznávání objektů (velké komplexní objekty lesů vs. malé nekompatní chybné objekty). Minimální plocha objektů byla nastavena tak, aby do vrstvy nemohla být zahrnuta zástavba (barva některých střech odpovídá barvě lesů).
- zástavba a komunikace - chybně klasifikované objekty byly odstraněny na základě velikostních charakteristik rozpoznávání objektů. Vyříznutím vrstvy komunikací z celkové masky byly definitivně odděleny sousední plochy, které by jinak mohly být přes úzkou komunikaci spojeny v jeden objekt (např. pole – komunikace – pole, pole – komunikace – louka, atd.)
- pole – k detekci bylo, z důvodu velké heterogenity v rámci třídy, použito šest různých souborů definice trénovacích ploch. Nejčastěji zde docházelo ke kolizi s třídou krajinného krytu „louka“, chybně detekované objekty byly odstraněny na základě charakteristik kompaktnosti a velikosti pomocí rozpoznávání objektů.
- louka - vzhledem k tomu, že ostatní „zelené“ plochy byly již z obrazu odstraněny pomocí maskování, je zde předpoklad, že přesnost zpracování by měla být vysoká.



Minimální plocha klasifikace byla nastavena tak, aby do této třídy nebyly zahrnuty zahrady.

- skupinová vegetace a solitérní stromy - klasifikováno za účelem detekce vegetačních pásů v nivě a podél vodních toků. Třídy byly od sebe odlišeny na základě kritéria velikosti.
- zahrady - kromě objektů zahrad sem byly přiřazeny ostatní, dosud neklasifikované, zbytkové plochy v obraze. Celkem bylo v této kategorii oklasifikováno 2338 objektů, přičemž chybně klasifikované objekty nebylo možné z vrstvy jednoduše odstranit. V této kategorii je tedy možné očekávat nízkou uživatelskou přesnost.

Ukázka výsledků objektové klasifikace v okolí obce Kalinova Ves v porovnání s klasifikovanými daty je zobrazena na obr. č. 38.

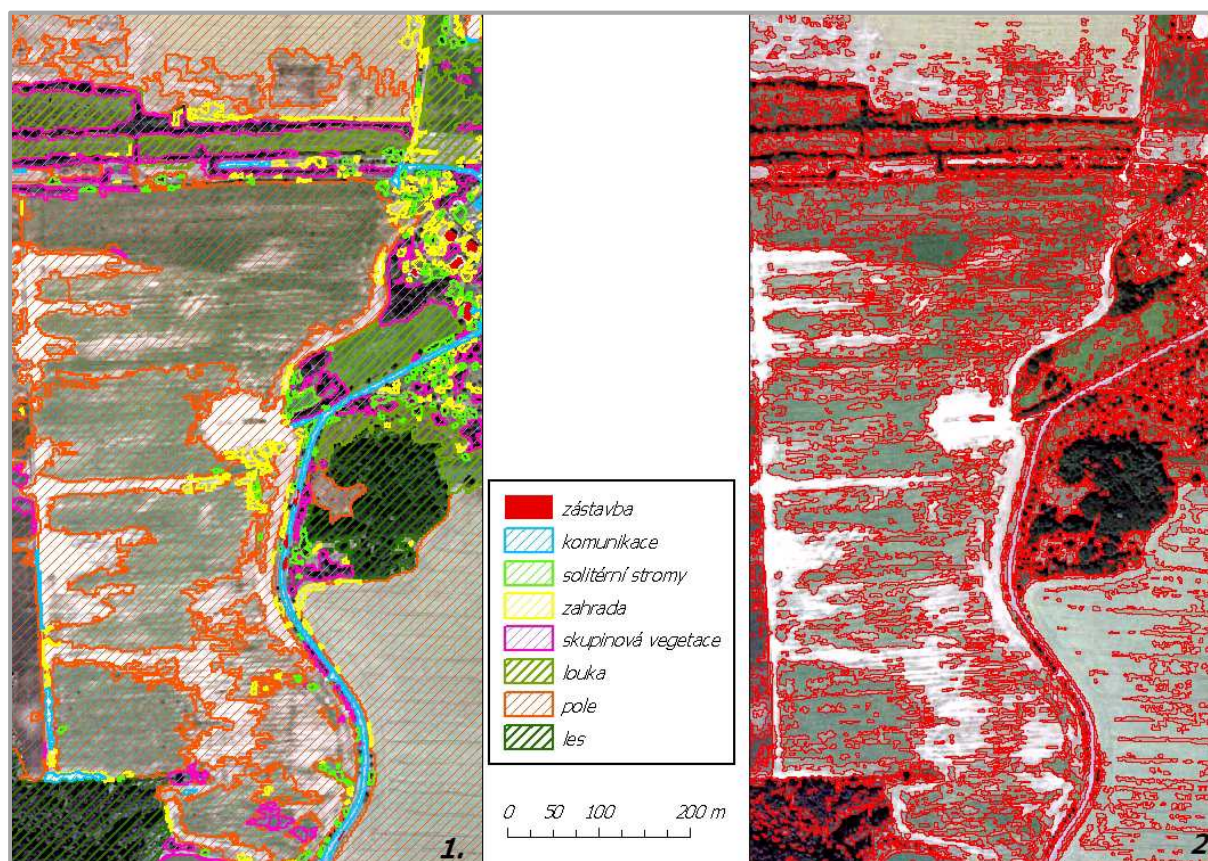


Obr. č. 38: Ukázka výsledků objektové klasifikace v porovnání se vstupními daty

Základním principem objektové klasifikace je hledání homogenních ploch v obraze, při zadání trénovacích ploch pak hledání homogenních ploch definovaných intervalem hodnot a mírou homogenity. Protože přirozeně homogenní plochy v krajině, a tedy i na obrazových datech, se často v jejich prostorovém vymezení neshodují s jednotlivými plochami kategorií krajinného krytu, neshodují se tedy ani klasifikované vektorové objekty s objekty reálného světa. Na obr. č. 39.1 je zobrazen objekt reálného světa – pole, který byl klasifikován v šesti krocích, tzn. byl klasifikován na základě šesti různých skupin trénovacích ploch definovaných za účelem detekce všech ploch polí v obraze. Celkem bylo pro tento objekt klasifikováno 22 jednotlivých vektorových objektů.

Sledované pole je však natolik heterogenní, že ani v uvedených šesti krocích nebylo možné klasifikovat celou plochu pole. Neklasifikovaná plocha pak byla v rámci další klasifikace přiřazena ke čtyřem různým kategoriím krajinného krytu (skupinová vegetace, zahrada, solitérní stromy a komunikace). Celkem bylo takto chybně klasifikováno 72 objektů, které však představují přibližně jen 2 % plochy sledovaného pole.

Na obr.č. 39.2 je zobrazen výsledek neřízené segmentace, pro její průběh nejsou definovány trénovací plochy, pouze počet výsledných tříd, počet iterací a velikost minimální plochy. Výsledkem neřízené segmentace jsou tedy homogenní plochy v obraze, jejichž míra homogenity není definována uživatelem, ale vychází z přirozeného procesu segmentace.



Obr. 39: Rozdělení objektů reálného světa do více vektorových objektů (1) a homogenní objekty vytvořené neřízenou segmentací (2)

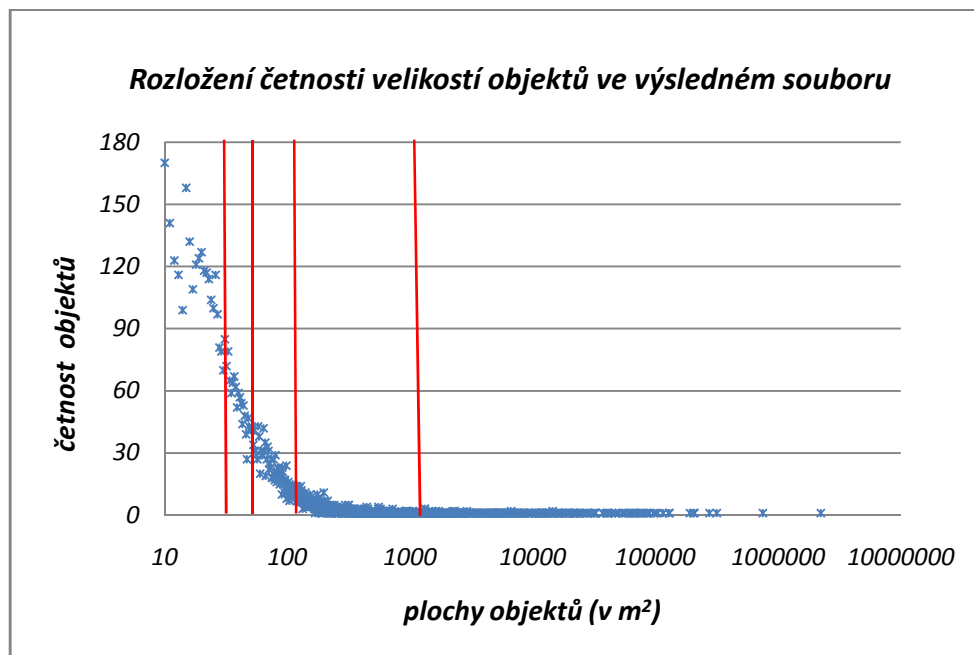
Výsledkem zpracování leteckých snímků modelového území byl soubor 6459 vektorových objektů klasifikovaných do 9 kategorií krajinného krytu. Tento soubor bude dále nazýván „výsledný soubor“.

### 10.5 Výpočet přesnosti objektové klasifikace v modelovém území

Referenční soubor pro určení přesnosti klasifikace byl vybrán z výsledného souboru. Výběr jednotlivých objektů byl v prvním kroku omezen pravidly a ve druhém kroku pak byly objekty vybrány náhodně. Hlavním pravidlem pro nastavení hranic výběru objektů byl předpoklad, aby rozložení četností velikostí objektů v referenčním souboru odpovídalo jednak celkovému rozložení četností ve výsledném souboru a jednak rozložení četností pro jednotlivé



výsledné kategorie. Rozložení četností ve výsledném souboru je zobrazeno v následujícím polologaritmickém grafu na obr. č. 40., logaritmické měřítko bylo použito pro osu kategorií  $x$ .



Obr. č. 40:: Rozložení četnosti velikostí jednotlivých objektů výsledného souboru v polologaritmickém grafu s vyznačením hranic velikostních kategorií.

Rozložení četností bylo sledováno v pěti intervalech, jejichž hranicemi bylo 30 m<sup>2</sup>, 50 m<sup>2</sup>, 100 m<sup>2</sup>, 1000 m<sup>2</sup> a více než 1000 m<sup>2</sup>. Hranice intervalů jsou v grafu č. 40. vyznačeny červeně a byly zvoleny tak, aby počet objektů v jednotlivých intervalech byl rozložen rovnoměrně a zároveň byly zohledněny specifika výsledných kategorií klasifikace. Procentuální zastoupení počtu objektů v kategoriích pro jednotlivé velikostní intervaly je uvedeno v následující tabulce č. 21.

V hodnoceném území byla stanovena hranice 5 % pro celkový počet objektů vybraných z výsledného souboru pro referenční soubor. Celkem bylo vybráno 324 objektů, přičemž procentuální zastoupení se v jednotlivých kategoriích měnilo tak, aby určení přesnosti mělo pokud možno co největší vypovídací hodnotu a zároveň zůstala zachována 5% hranice. Např. z kategorie vodní plocha bylo vybráno 50 % objektů, což ale představuje pouhé 3 objekty, oproti tomu z kategorie zahrada bylo vybráno 108 objektů, které však představují pouze 5 % ze všech objektů klasifikovaných jako zahrada.

Vlastní výběr referenčních objektů, po stanovení počtů pro jednotlivé intervaly (viz tab. č. 21), probíhal v databázové tabulce mimo vektorové prostředí, aby byl znemožněn preferenční výběr chybně či správně klasifikovaných objektů a referenční soubor byl nezávislý. Následně byla na podkladu hodnocených leteckých snímků ke každému objektu přiřazena správná příslušnost ke klasifikační kategorii a pomocí kontingenčních tabulek byly sestaveny chybové matice a vypočítána přesnost zpracování (dále jen PZ) a uživatelská přesnost (dále jen UP). Přesnost byla spočítána na podkladu součtu ploch všech správně klasifikovaných objektů v kategorii vzhledem k součtu ploch všech klasifikovaných objektů v kategorii.

Tab. č. 21: Procentuální zastoupení kategorií klasifikace ve velikostních intervalech pro výsledný soubor (**A**) a referenční soubor (**B**) s počtem objektů stanovených pro náhodný výběr v jednotlivých intervalech.

velikostní interval	≤30 m <sup>2</sup>			(30 - 50> m <sup>2</sup>			(50 - 100> m <sup>2</sup>			(100 - 1000> m <sup>2</sup>			≥1000 m <sup>2</sup>			Celkem		
	výsl. soub.	referenční soubor		výsl. soub.	referenční soubor		výsl. soub.	referenční soubor		výsl. soub.	referenční soubor		výsl. soub.	referenční soubor		výsl. soub.	referenční soubor	
	podíl (v %)	podíl (v %)	počet obj.	podíl (v %)	podíl (v %)	počet obj.	podíl (v %)	podíl (v %)	počet obj.	podíl (v %)	podíl (v %)	počet obj.	podíl (v %)	podíl (v %)	počet obj.	počet obj.	počet obj.	podíl (v %)
komunikace	2	3	3	5	4	2	5	5	3	11	9	6	10	5	2	344	16	5
les										1	3	2	16	27	11	73	13	18
louka										0,2	2	1	17	29	12	73	13	18
pole										2	6	4	38	24	10	192	14	7
solitérní stromy	24	24	27	29	30	15	25	25	14	14	12	8				1392	64	5
skupinová vegetace	14	13	15	29	30	15	26	25	14	30	26	17	13	7	3	1416	64	5
vodní plocha										0,2	3	2	1	2	1	6	3	50
zahrada	59	59	66	30	30	15	22	23	13	22	20	13	4	2	1	2337	108	5
zástavba	1	1	1	7	6	3	21	21	12	20	18	12	2	2	1	626	29	5

Výsledné hodnoty přesnosti jsou uvedeny v tab. č. 22. v pořadí, ve kterém byly kategorie klasifikovány. V kategoriích klasifikovaných v první fázi bylo dosaženo hodnot přes 90 %, oproti tomu kategorie, které obsahují vysoký počet zbytkových ploch, dosáhly hodnot relativně nižších.

Tab. č. 22. : Tabulka výsledných hodnot přesnosti pro jednotlivé kategorie klasifikace (všechny hodnoty v %)

	vodní plocha	les	komunikace	zástavba	pole	louka	skupinová vegetace	solitérní stromy	zahrada
přesnost zpracování	99	99	95	96	97	96	95	78	76
uživatelská přesnost	100	96	93	98	99	100	92	44	52

### 10.6 Výpočet efektivity objektové klasifikace v modelovém území

Přesnost klasifikace je závislá na definici trénovacích ploch. I velmi heterogenní kategorie je možné klasifikovat s dostatečnou přesností, pokud k tomu bude použit odpovídající počet souborů trénovacích ploch, tím však zároveň roste i pracnost a časová náročnost zpracování. Příkladem může být výše zmiňované pole na obr. 39, kde byla 98% přesnost dosažena až díky definování šesti souborů trénovacích ploch. Z toho důvodu byl definován index efektivity klasifikace.

Index efektivy klasifikace normalizuje četnost objektů jejich plochou. Index je založen na principu vážených veličin, které přisuzují jednotlivým prvkům souboru různou důležitost.

Vzorec pro výpočet indexu byl definován následovně:

$$I_{ef}(a) = \frac{n(a) \times \sum p(a)}{N \times \sum p} \times 100,$$

kde  $I_{ef}(a)$  ..... index efektivy v intervalu **a**  
 $n(a)$  .....počet objektů v intervalu **a**  
 $p(a)$  ..... plochy objektů v intervalu **a**  
 $N$  .....počet objektů v hodnoceném souboru  
 $p$  .....plochy objektů v hodnoceném souboru

Aby bylo možné označit hodnoty indexů jako nezávislé na referenčním souboru, byl pro jejich výpočet použit soubor dat vytvořený vyjmutím objektů referenčního souboru z výsledného souboru. Index efektivy byl vypočten pro jednotlivé velikostní intervaly (hodnoty v tab.č. 23) a započítán do chybových matic.

Tab. č. 23: Hodnoty indexu  $I_{ef}$  pro jednotlivé velikostní intervaly

velikostní interval	$\leq 30 \text{ m}^2$	$(30 - 50 > \text{m}^2$	$(50 - 100 > \text{m}^2$	$(100 - 1000 > \text{m}^2$	$\geq 1000 \text{ m}^2$
$I_{ef}$	0,1878	0,0839	0,177	0,7267	5,8465

Výsledné hodnoty jsou zapsány v tab. č. 24 a představují efektivitu klasifikace z hlediska zpracovatele a uživatele. Z těchto hodnot je možné odhadnout, které kategorie klasifikace jsou časově náročné.

Tab. č. 24: Výsledné hodnoty efektivy klasifikace

	vodní plocha	les	komunikace	zástavba	pole	louka	skupinová vegetace	solitérní stromy	Zahrada
efektivita zpracování	95	93	87	93	84	72	79	70	73
uživatelská efektivita	100	72	86	98	89	100	81	47	40

Z hlediska hodnocení hydromorfologie vodních toků, které sleduje jen pás území podél toků, by tedy v případě heterogenního charakteru velkých ploch (zde pole a lesy) v obrazových datech bylo vhodnější klasifikovat relativně malý počet plošně velkých objektů pomocí manuální vektorizace. Po odstranění těchto ploch z klasifikační masky by byla objektová

klasifikace velkého počtu plošně malých objektů přesnější a časová náročnost celé klasifikace výrazně menší.

### 10.7 Stanovení přesnosti pomocí principu fuzzy logiky

Fuzzy logika je princip, který přiřadí prvek do skupiny pomocí stupně příslušnosti. Benz (2004) ji definovala jako více-hodnotovou logiku, která kvantifikuje nejistotu tvrzení. Základní myšlenkou je nahrazení dvou booleanovských logických výroků „správně“ a „chybně“ kontinuálním rozpětím hodnot v intervalu  $<0,1>$ , kde „0“ znamená „chybně“, „1“ znamená „správně“ a všechny hodnoty mezi „0“ a „1“ reprezentují přechod mezi výroky „chybně“ a „správně“ (Benz a kol., 2004).

Tento princip je často užíván v interpretaci výsledků klasifikace, kdy je jednotlivým objektům přiřazena číselná hodnota stupně příslušnosti k různým kategoriím klasifikace. Využívají jej však pouze metody klasifikace, které v prvním kroku segmentují obraz do homogenních objektů a v druhém kroku klasifikují všechny kategorie na základě trénovacích ploch, které jsou reprezentovány segmentovanými homogenními objekty. Hodnoty příslušnosti jsou vypočítány na základě rovnic příslušnosti.

V případě zpracování pomocí Feature Analyst, kde klasifikace probíhá zároveň se segmentací, nebyl princip fuzzy logiky použit při klasifikaci, ale při určení přesnosti zpracování. Důvodem pro použití principu fuzzy logiky byl fakt, že plochy, které ve skutečnosti reprezentují různé kategorie krajinného krytu, jsou na obrazových datech zobrazeny pixely ve stejném intervalu hodnot a z hlediska zpracování a hledání homogenních ploch v obraze jsou zařazeny do stejné kategorie. Klasickým případem mohou být zarostlé zelené části na polích vs. travnaté plochy luk a zahrad. Tyto plochy mohou být rozlišeny pomocí rozpoznávání objektů na základě charakteristik tvaru a velikosti, ale pouze v omezené míře.

Pro určení přesnosti byla použita segmentace pomocí neřízené klasifikace, která rozdělí obraz do homogenních objektů pouze na základě zadání minimální velikosti ploch, počtu klasifikačních kategorií, velikosti a tvaru filtračního okna a počtu iterací. Výsledkem neřízené klasifikace jsou tedy objekty, které by měly být vnitřně homogenní a měly by představovat, nebo být součástí pouze jednoho objektu reálného světa.

Obraz modelových dat byl neřízenou segmentací rozdělen do 60 156 objektů, ze kterých byl vybrán referenční soubor 263 objektů se shodným rozložením četností ve velikostních intervalech (analogicky k výběru referenčního souboru popsaném v kap. 10.5). K jednotlivým objektům pak byla přiřazena výsledná kategorie klasifikace pomocí Feature Analyst, referenční kategorie zjištěná z obrazových dat a alternativní kategorie.

Alternativní kategorie je druhá možná kategorie klasifikace, do které by mohl být objekt zařazen na základě hodnot pixelů definovaných pomocí trénovacích ploch. Jde tedy o objekty, která byly vzhledem k definici trénovacích ploch detekovány správně, do klasifikované kategorie přesto nepatří a nebylo možné je z této kategorie odstranit na základě rozpoznávání



objektů. Zařazení alternativní kategorie by tedy mělo výstižněji hodnotit schopnost Feature Analyst detekovat homogenní plochy v obraze.

Při výpočtu přesnosti klasifikace byla referenčnímu objektu přiřazena jedna z následujících hodnot:

- hodnota 1, v případě kdy objekt byl klasifikován správně
- hodnota 0,5 v případě kdy alternativní kategorie odpovídala charakteru reálného objektu
- hodnota 0, v případě kdy objekt byl klasifikován chybně

Pomocí kontingenčních tabulek byly sestaveny chybové matice a spočítána přesnost zpracování a uživatelská přesnost pro jednotlivé klasifikační kategorie. Hodnoty jsou uvedeny v následující tab. č. 25.

Tab. č. 25: Hodnocení přesnosti se započítáním alternativní kategorie, hodnoty v %

	vodní plocha	les	komunikace	zástavba	pole	louka	skupinová vegetace	solitérní stromy	Zahrada
přesnost zpracování	100	93	100	100	95	98	95	97	78
uživatelská přesnost	100	66	94	84	100	95	100	87	79

Objektové klasifikace by měly být schopné zasadit klasifikované prvky do kontextu celého zpracovávaného obrazu. V prostředí Feature Analyst zatím takového možnosti nejsou, je tedy otázkou do jaké míry je možné považovat objekt za chybně klasifikovaný, pokud jeho vnitřní homogenita a hodnoty pixelů odpovídají nastaveným hranicím, pouze jeho reálná funkce (kterou není v současné době možné kvantitativně definovat) je odlišná. Rozdíl v hodnotách přesnosti bez započítání alternativní kategorie a s jejím započítáním je tedy spíše způsoben nedostatečnou schopností rozpoznávání objektů na základě jejich charakteristik tvaru a velikosti než nepřesností klasifikace samotné.

Nejmenší úspěšnost rozpoznávání objektů byla zaznamenána v kategorii solitérní stromy, les a zahrada, nejvyšší pak v kategorii komunikace.

## 11 Modelové území Vltavy

Na modelovém území Vltavy byly na podkladu obrazových dat sledovány morfologické charakteristiky koryta toku a jejich vývoj. Sledován byl úsek toku Vltavy mezi Lenorou a ústím do v.n. Lipno a její přítok Studená Vltava v úseku Černý Kříž – ústí, přičemž volba modelového území byla podmíněna dostupností satelitních snímků, přirozeným charakterem koryta toku a jeho relativně nízkým zastíněním břehovou vegetací. Cílem následující studie bylo ověření, zda je možné využít výsledky zpracování obrazu satelitních snímků k hodnocení hydromorfologických charakteristik koryta toku v rámci distančního hodnocení vodních toků.

### 11.1 Charakteristika území

Modelové území Vltavy je vymezeno pokrytím satelitními snímky z družice WorldViewII. Sledován byl úsek toku Vltavy mezi obcí Lenorou a ústím do v.n. Lipno s přítokem Studené Vltavy v úseku Černý Kříž - ústí. Vymezení pomocí říčních kilometrů je následující – 0-17 ř.km Teplé Vltavy, 0-6,5 ř. km Studené Vltavy a 366-376,5 ř.km Vltavy. Veškeré následující informace (pokud nebude uvedeno jinak) byly vyčteny z veřejně přístupných map na [www.geoportal.cenia.cz](http://www.geoportal.cenia.cz) přes ArcGIS server, konkrétně byly použity následující vektorové mapy - Geologická mapa, Geomorfologická mapa, Mapa půdních typů, CORINE 2006 a Základní mapa ČR.

Vltava protéká v rámci geomorfologického celku Šumava Vltavickou brázdou, která kopíruje průběh zakrytého zlomu. Vltavická brázda je od jihu proti směru hodinových ručiček obklopena Želnavskou, Prachatickou, Boubínskou a Trojmezenskou hornatinou. Dno brázdy je vyplněno fluvialními a nivními sedimenty a rašeliništi, na ně pak ve směru od toku navazují deluvia z okolních svahů. Okolní hornatiny jsou tvořeny horninami moldanubika, hlavní zastoupení zde má především žula, rula, pararula, granuly a migmatity.

Nejvyšším bodem území je vrch Plechý (1378 m n.m.), nejnižším pak ústí Vltavy do v.n. Lipno (720 m n.m.). Do sledovaného území vtéká Vltava v nadmořské výšce 760 m n.m., na 33 km délky toku tedy překonává spád pouhých 40 m, což odpovídá sklonu toku 1,21 ‰. Plocha povodí pro uvedený úsek toku s přítoky byla vypočítána na 228 km<sup>2</sup>.

V území se nachází dvě meteorologické stanice – Volary a Lenora. Podle Mapy průměrného ročního úhrnu srážek a Mapy průměrné roční teploty vzduchu v období 1961-1990 (Hottanová, E., Skalák, P., online, [www.chmi.cz](http://www.chmi.cz)) spadne ve sledovaném území průměrně za rok 800-1000 mm a teploty dosahují průměrné teploty 4-5 °C.

V sledovaném území se nachází tři hlásné profily hydrologických dat – Lenora a Chlum pro Teplou Vltavu a Černý Kříž pro Studenou Vltavu. Průměrné roční stavy, resp. průtoky uvádí ČHMÚ ([www.chmi.cz](http://www.chmi.cz)) pro Lenoru 61 cm, resp. 3,11 m<sup>3</sup>/s, pro Chlum 78 cm, resp. 5,89 m<sup>3</sup>/s a pro Černý Kříž 57 cm, resp. 1,87 m<sup>3</sup>/s.

Hlavní tok Vltavy má meandrující charakter, přičemž některé úseky byly v minulosti pravděpodobně napříměny (z důvodu plavení dřeva, nebo odvodňování rašelinišť a mokřadů). Kromě řady bezejmenných přítoků přibírá Vltava ve směru po proudu toku zprava Řásnici, Žlebský potok a Studenou Vltavu, zleva pak Olšinu, Jedlový potok, Volarský potok a Uhlíkovský. Oficiální název Vltava získává tok až na úrovni Vltavského luhu, kde se stéká tok Teplé a Studené Vltavy. V rámci typologie vodních toků byl sledovaný úsek zařazen do typu 132 Vrchovinné toky úmoří Severního moře na sedimentárních horninách.

Podél vodních toků se nachází gleje, v lokalitách rašelinišť pak organozemě, úpatí svahů jsou pokryty kambizeměmi, vrcholové partie pak překrývají kryptopodzoly. Na úrovni obce Lenora se podél toku vyskytují fluvizemě.

Modelové území je jen velmi málo hospodářsky využíváno. Hlavní zásluhu na tomto stavu má ochrana území NP Šumava a faktor nepřístupného hlídaného pohraničního pásma do roku 1989. Podél toku se rozkládají mokřiny, močály a rašeliniště, orná půda se vyskytuje pouze v malé rozloze v blízkosti obce Pěkná, většinu území pokrývají jehličnaté lesy a louky a pastviny (viz mapy na obr č. 41).

Celé území je chráněno v rámci NP Šumava, oblasti CHOPAV, rezervace NATURA 2000, biosferické rezervace a maloplošných a velkoplošných chráněných území. Probíhají zde koridory a nachází se zde centra ÚSES. Vybrané chráněné oblasti jsou zobrazeny v mapě č. 41.3.

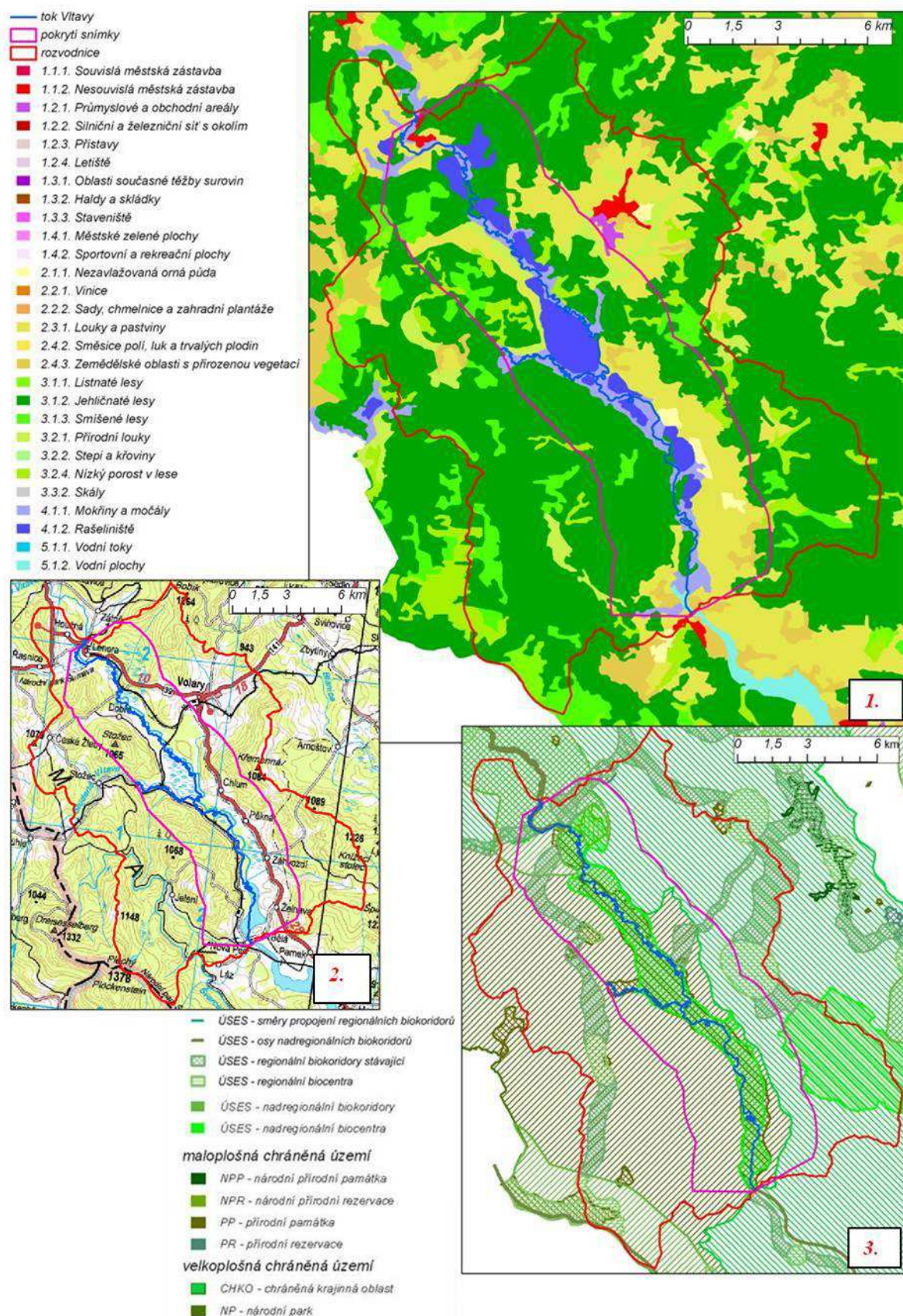
Administrativně se území nachází v Jihočeském kraji, okres Prachatice. Největším centrem jsou Volary a Lenora. Území je jen řídce osídleno, nejsou zde lokalizovány významné průmyslové, nebo hospodářské podniky.

## 11.2 Použitá data

K dispozici byly následující obrazové podklady, satelitní a letecké snímky byly pořízeny v rámci projektu GA UK č. 13309 „Využití distančních podkladů při hodnocení hydromorfologického stavu vodních toků“ :

- Multispektrální snímky z družice WorldView II., 8 spektrálních kanálů v rozmezí 400-1040 nm, prostorové rozlišení 2 m, datum snímání 8.10.2011 (pro celý sledovaný úsek) a 22.10.2010 (pro úsek Lenora – soutok se Studenou Vltavou),
- Panchromatický snímek z družice WorldView II., spektrální rozsah 450-800 nm, prostorové rozlišení 0,5 m, datum snímání 8.10.2011 (pro celý sledovaný úsek) a 22.10.2010 (pro úsek Lenora – soutok se Studenou Vltavou),
- Panchromatický snímek z družice WorldView I., spektrální rozsah 450-900 nm, prostorové rozlišení 0,5 m, datum snímání 6.7.2008,
- Černobílé letecké snímky, rok snímání 1996,
- Černobílé letecké snímky, rok snímání 1979,
- Mapa černobílých leteckých snímků, rok nasnímání modelového území 1952, přístupná na [www.kontaminace.cenia.cz](http://www.kontaminace.cenia.cz)
- Mapa Pozemkového katastru, zachycen stav z let 1927 - 1956, přístupné jako WMS služba ČÚZK
- Mapy II. Vojenského mapování, zachycen stav z období 1836-1852 přístupné jako IMS služba na [www.geoportal.cenie.cz](http://www.geoportal.cenie.cz)

Pro potřeby sledování morfologie struktur v korytě toku proběhl ve dnech 5. -6. 9. 2010 terénní průzkum, během nějž bylo provedeno 158 bodových měření hloubek a zákres 39 akumulčních objektů v korytě toku. Místa měření hloubek a zákres objektů byl lokalizován pomocí mobilního mapovacího zařízení Mobbille Mapper s vestavěnou GPS, jejíž polohová přesnost je uváděna v rozmezí 2-5 m. Při mapování akumulčních objektů byl zaznamenán jejich charakter.



Obr. č. 41: Lokalizace modelového území Vltavy v přehledové mapě (2), využití území podél toku (1) a vymezení chráněných území a ÚSES (3)



Během terénního mapování byly pro měření hloubek vybírány místa s pozvolnou změnou hloubek tak, aby změřená hloubka byla v rámci předpokládaného pixelu na obrazových datech reprezentativní. Na vybraných lokalitách bylo provedeno více měření v dostatečné vzdálenosti od sebe (vzhledem k prostorovému rozlišení obrazových dat a přesnosti GPS) tak, aby bylo možné výsledky zpracování obrazu vzhledem k terénnímu měření verifikovat. Lokality byly vybírány tak, aby na obrazových datech nemohly být zastíněny vrženým stínem, nebo přímým zakrytím vegetací. Vzhledem k tomu, že k nasnímání území došlo (oproti předpokladu s několikaměsíčním zpožděním) na začátku října a družice se pohybuje po heliosynchronní dráze s časem snímání 10:30 místního času, bylo v době snímání Slunce nízko nad obzorem a vytvářelo za objekty velmi dlouhé stíny. Došlo tak k zastínění některých změřených profilů hloubek a z původních 158 měření bylo použitelných pouze 106 měření. Z toho 81 měření bylo změřeno v rámci 12 lokalit a 25 měření rouztroušeně v celé délce sledovaného úseku toku.

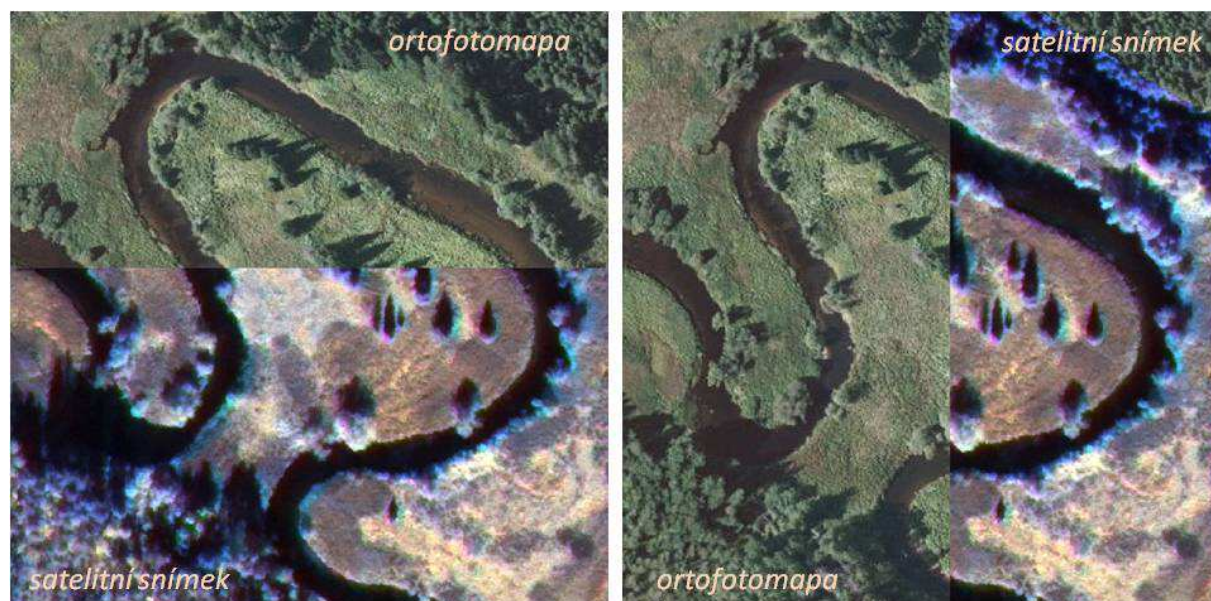
### ***11.3 Morfologie struktur v korytě toku***

Pro sledování morfologie struktur v korytě toku byl použit panchromatický snímek a multispektrální snímek z družice WorldView II. z 8.10.2010. Pro vytvoření multispektrálního obrazu byla vybrána taková spektrální pásma, jejichž vlnové délky prostupují (nebo částečně prostupují) vodním sloupcem. Je zde tedy předpoklad, že analýza hloubek poskytne věrohodný obraz struktury dna. Srovnáním s výsledky analýzy hloubek na podkladu panchromatického obrazu bude zjištěno, s jakou přesností je možné pro sledování variability hloubek využívat finančně dostupnější panchromatická data.

#### ***11.3.1 Příprava dat***

Panchromatický snímek byl nasnímán ve spektrálním rozlišení 450-800 nm, pro multispektrální snímek byla vybrána kombinace spektrálních kanálů 541 (viditelné červené pásmo v intervalu 630-690 nm - viditelné žluté pásmo v intervalu 582-625 nm – pobřežní pásmo v intervalu 400-450 nm). Pomocí prahování histogramu byla upravena barevnost obou obrazů tak, aby v obraze byla zachycena co největší variabilita sledovaného prvku (hloubek). Spektrální obraz v kombinaci 541 s rozlišením 2 m byl následně zaostřen panchromatickým obrazem s prostorovým rozlišením 0,5 m pomocí principu pansharpeningu. Výsledný spektrální obraz v kombinaci 541 s prostorovým rozlišením 0,5 m i panchromatický obraz byly přesně georeferencovány na podkladě ortofotomapy přístupné na geoportálu cenie.

Celé následné hodnocení možnosti sledování variability hloubek probíhalo v souřadném systému S-JTSK Křovák. Přesnost referencování výsledného obrazu je graficky zobrazena na následujícím obr. č. 42. Z důvodu zjednodušení následujícího textu bude georeferencovaný pansharpening multispektrálního obrazu (nebo jeho výřezy) s volbou spektrálních pásem 541 a prostorovým rozlišením 0,5 m, jehož barevnost byla upravena pomocí prahování histogramu dále nazýván pouze jako „obraz 541“, georeferencovaný panchromatický snímek (nebo jeho výřezy) upravený prahováním histogramu pak jako „*panchromatický obraz*“.



Obr. č. 42: Grafické zobrazení přesnosti georeferencování satelitních snímků, jako satelitní snímek byl použit výřez obrazu 541.

### 11.3.2 Zpracování obrazových dat

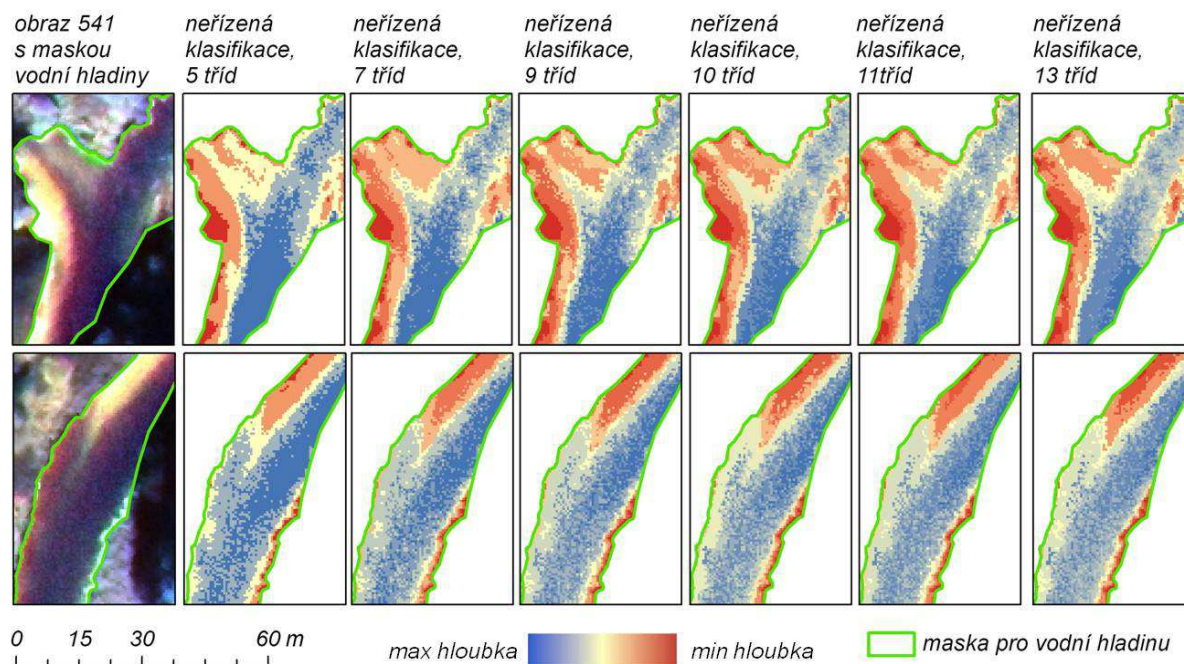
Analýza snímků proběhla v programu ArcGIS 9.3 s využitím nástroje neřízené klasifikace v rámci extenze Image Analysis a nástroje reklasifikace obrazu v rámci extenze Spatial Analyst. Oba tyto nástroje byly vybrány především z důvodu velice jednoduchého použití. Neřízená klasifikace využívá metody shlukové analýzy, nástroj reklasifikace obrazu je založen na principu hustotních řezů. V rámci reklasifikace byl vybrán algoritmus Jenks Natural Breaks. Pomocí tohoto algoritmu jsou v histogramu hledány homogenní intervaly, které jsou vůči ostatním intervalům co nejvíce heterogenní. Podle Mináře je nejlepšího uspořádání hodnot do tříd (intervalů) dosaženo tak, že je iteračně minimalizován součet druhých mocnin rozdílů hodnot od průměru dané třídy (Minář, 2008).

Pomocí neřízené klasifikace byla vytvořena maska vodní hladiny (bez zastíněných úseků) a následné zpracování probíhalo pouze v této masce. V rámci nástrojů neřízené klasifikace a reklasifikace obrazu je jedinou proměnou výsledný počet tříd klasifikace. Při volbě výsledného počtu tříd byla sledována jednak potřeba co nejdetailnější klasifikace struktur (především v mělkých oblastech), zároveň však jejich co největší celistvost (především v hlubších oblastech). Vysoký počet klasifikačních tříd může způsobit neinterpretovatelnost výsledků, tzv. efekt pepř a sůl. Počet tříd, který byl pro zpracování použit, byl stanoven na základě vizuálního posouzení výsledků klasifikace ve vybraných lokalitách.

Na následujícím obr. č. 43 je ve dvou lokalitách zobrazen obraz 541 a výsledek jeho neřízené klasifikace s různým počtem klasifikovaných tříd. Z hlediska potřeb hodnocení variability hloubek, tedy identifikace hlubokých a mělkých oblastí a zároveň zachování jejich celistvosti, je vhodná klasifikace do 5 tříd. Pro potřeby ověření správnosti klasifikace na porovnání s hloubkami naměřenými v terénu, byla hledána hranice, kdy se detailnost klasifikace již



výrazně nezvyšuje. Tato hranice byla na základě vizuálního porovnání stanovena na úrovni 10 klasifikačních tříd.



Obr. č. 43: Neřízená klasifikace obrazu 541 ve vybraných lokalitách s různým počtem klasifikačních tříd

### 11.3.3 Verifikace zpracování obrazových dat

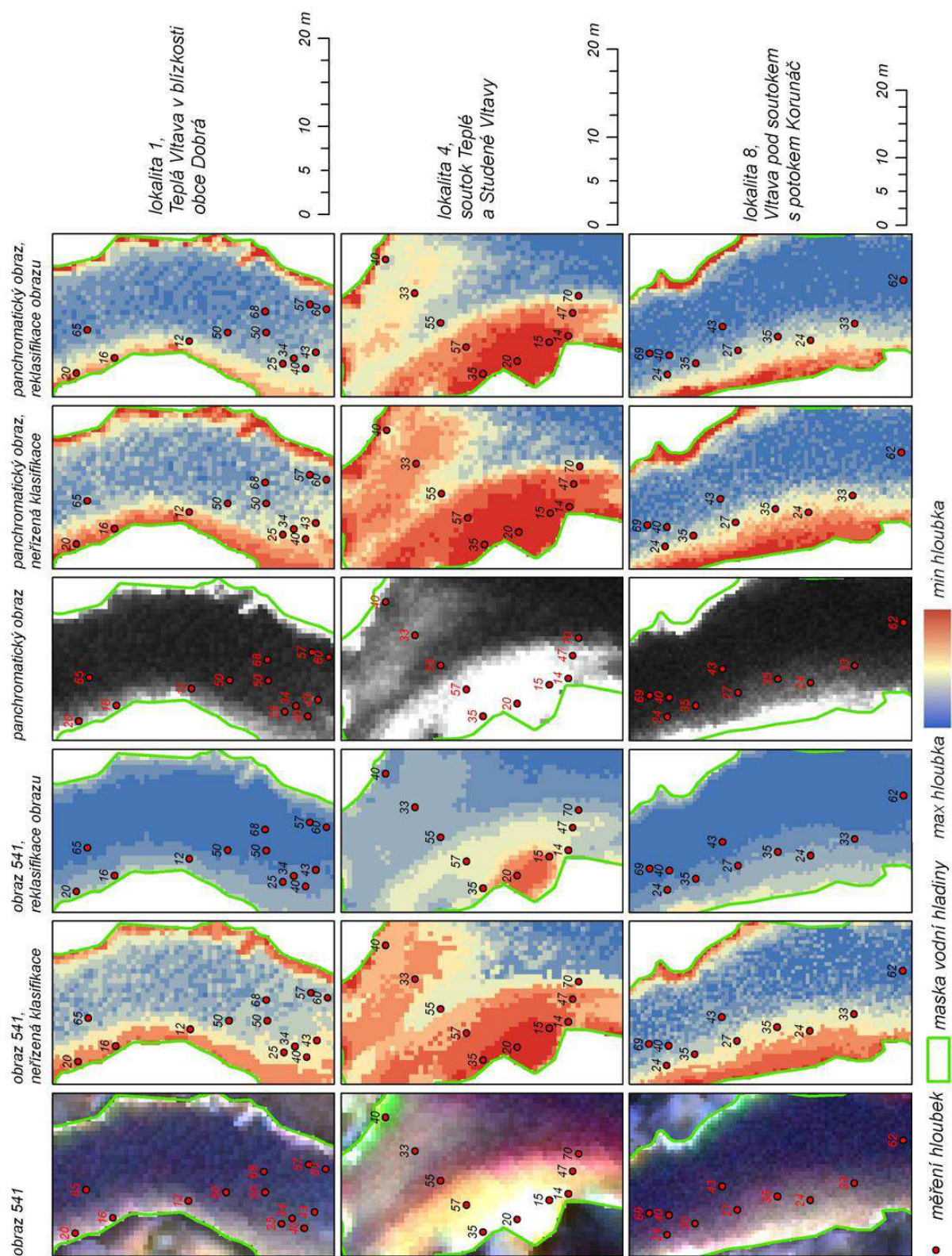
Správnost klasifikačních metod byla verifikována na základě porovnání s hloubkami naměřenými během terénního mapování. Verifikace probíhala na dvou úrovních – místní a verifikace celého sledovaného úseku.

Místní verifikace probíhala na základě vizuálního porovnání v jednotlivých lokalitách, kdy byla zjišťována správnost relativního zařazení změřené hloubky do klasifikované třídy vzhledem k ostatním změřeným hloubkám v dané lokalitě. Tedy zda menší změřené hloubky se v rámci jedné lokality nachází v relativně mělčích oblastech (klasifikačních třídách) a větší změřené hloubky se nachází v relativně hlubších oblastech (klasifikačních třídách). Příklady vizuálního porovnání ve vybraných lokalitách je zobrazena na obr. č. 44.

V lokalitách, kde nebyly během terénního mapování hloubky měřeny, byla sledována schopnost detekce struktur dna koryta na základě porovnání výsledků zpracování obrazu s obrazem 541 a ortofotomapou.

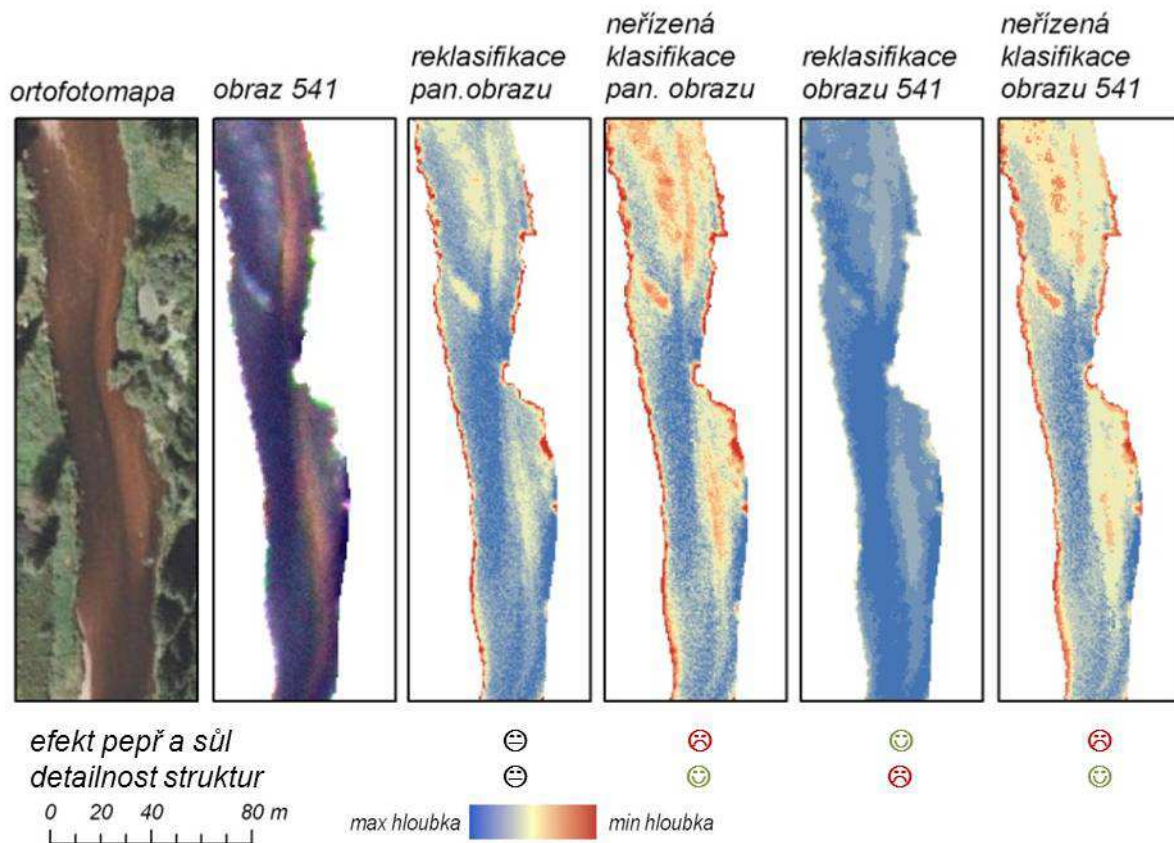
Na základě vizuálního porovnání ve vybraných lokalitách je možné označit reklasifikaci obrazu 541 v porovnání s reklasifikací panchromatického obrazu a neřízenou klasifikací obrazu 541 a panchromatického obrazu jako nejvíce generalizovanou, zároveň však byly relativně hlubší a mělčí oblasti od sebe dostatečně odlišeny a zobrazení jednotlivých klasifikačních tříd mělo homogenní charakter (bez efektu pepř a sůl). Reklasifikace panchromatického obrazu a neřízená klasifikace panchromatického obrazu a obrazu 541

poskytují z hlediska detekce struktur srovnatelné výsledky, přičemž v případě neřízené klasifikace panchromatického obrazu se nejvíce projevil efekt pepř a sůl (viz obr. č. 45).



Obr. č. 44: Příklad tří lokalit a grafického porovnání správnosti klasifikace





Obr. č. 45: Vizuální porovnání detekce struktur v korytě dna, lokalita bez měření hloubek

Verifikace obrazových dat celého sledovaného úseku probíhala v rámci prostorového vymezení masky pro vodní hladinu (bez zastíněných úseků) a na základě porovnání se všemi změřenými profiley. Pro verifikaci byl použit obraz neřízené klasifikace obrazu 541 s výsledným počtem 10 klasifikačních tříd, které v podstatě představují 10 intervalů hloubek, do kterých byl obraz klasifikován. Bylo zjišťováno, zda se v rámci jednotlivých tříd (intervalů hloubek) klasifikace nachází profiley hloubek, jejichž hodnoty se shlukují do homogenních intervalů.

Do verifikace vstupuje několik faktorů, které proces porovnání komplikují:

- přesnost georeferencování – snímek byl referencován na podkladě ortofotomapy v souřadném systému S-JTSK, přičemž byl kladen důraz především na správné umístění koryta toku. Přesnost umístění území podél koryta toku nebyla sledována. Přesnost georeferencování byla řešena v předchozí kapitole (viz obr. č. 42).
- polohová přesnost GPS – data byla v terénu zaznamenána pomocí mobilního mapovacího zařízení s vestavěnou GPS jejíž polohová přesnost je udávána do 5m. Poloha byla určována na základě průměrování deseti měření, které přesnost měření zvyšují. Z toho důvodu však nebylo možné zpřesnit polohu post-processingem pomocí dat z pozemních vysílačů korekčních signálů DGPS. Z toho důvodu v rámci porovnání nebyla sledována pouze klasifikační třída v bodě měření, ale všechny zjištěné klasifikační třídy v okolí 5 m od změřeného profilu.

- reprezentativnost měřených hloubek – největší nejistotou porovnání je fakt, že jsou porovnávány hodnoty bodového měření s průměrnou hodnotou čtverce o hraně 50 cm. Během terénního mapování byl kladen důraz na reprezentativnost měřených hloubek v rámci okolí profilu tak, aby nebyly měřeny lokální extrém, nicméně není možné zaručit, že změřená hloubka je průměrnou hloubkou v rámci pixelu, ve kterém se nachází.
- různý substrát dna – ve sledovaném úseku Vltavy převažuje písčité dno. V případě, kdy byla hloubka měřena nad jiným substrátem nebo nad splývavou vodní vegetací, byl tento fakt a zjištěný charakter zaznamenán.
- změna struktur dna v období mezi terénním mapováním a satelitním snímáním – pro zjištění možnosti změny struktur v korytě byla použita data z hlásných profilů sítě ČHMÚ, které se nachází ve sledovaném úseku toku (Teplá Vltava - Lenora, Teplá Vltava – Chlum, Studená Vltava – Černý Kříž). Maximální zjištěné průtoky na uvedených profilech za období mezi mapováním a satelitním snímáním odpovídaly průměrným ročním průtokům. V takovém případě je možné předpokládat, že změny struktur dna jsou zanedbatelné.
- rozdílné vodní stavy - v době mapování byly na hlásných profilech vodní stavy o 4-11 cm vyšší, než v době snímání (viz tab. č. 26). Z toho důvodu nebylo možné naměřené hloubky v porovnání s obrazovými daty brát jako absolutní hodnotu v daném bodě. Profily, u nichž byla během mapování změřena hloubka do 15 cm, se mohly v době snímání nacházet nad úrovní vodní hladiny. Z toho důvodu obsahuje maska vodní hladiny i plochy, které mohly být v době terénního mapování pod vodou (akumulační lavice a plochy bez vegetace přímo navazující na vodní hladinu).

Tab. č. 26: Hodnoty průtoků a vodních stavů vztahující se ke sledovanému období a úseku toku

		Teplá Vltava		Studená Vltava
		Lenora	Chlum	Černý Kříž
vodní stavy 5.9.2010, 9:00-17:00	H (cm)	52	69	46
vodní stavy 6.9.2010, 9:00-15:00	H (cm)	51	66	45
vodní stavy 8.10.2010, 10:00-11:00	H (cm)	47	58	38
průměrný roční průtok	$Q_r$ (m <sup>3</sup> /s)	3,11	5,89	1,87
maximální Q (5.9.2010-8.10.2010)	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	3,68	6,04	1,89

Verifikace snímků s terénními daty v celém sledovaném úseku vychází z předpokladu, že snímky byly dostatečně přesně georeferencovány, naměřené hloubky jsou reprezentativní hodnotou pro své okolí, nedošlo k výrazné modelaci struktur dna a chyba polohové přesnosti

GPS byla do 5 m. V takovém případě je možné předpokládat, že v okolí 5 m od profilu se nachází pixel (klasifikační třída), který představuje interval hloubek, do kterého změřená hloubka v profilu náleží.

V rámci verifikace byly v 5m okolí jednotlivých profilů zaznamenány všechny přítomné třídy klasifikace a vyznačeny do tabulky (tab. č. 27). V případě, kdy byla změřena stejná hloubka na více profilech, byly použity pouze ty třídy klasifikace, které se vyskytují v okolí všech profilů se stejnou změřenou hloubkou.

Tab. č. 27: Přítomnost tříd klasifikace v pětimetrovém okolí profilů hloubek a vymezení intervalů hloubek pro jednotlivé třídy

hloubka (cm)	třída klasifikace									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8							X	X	X	X
11		X	X	X	X	X	X	X	X	X
12							X	X	X	X
14		X			X	X	X	X	X	X
15						X	X	X	X	X
16									X	
17							X	X	X	X
20								X	X	
22				X	X	X		X	X	X
23			X	X	X	X	X	X	X	X
23			X	X	X	X	X	X	X	X
24	X	X	X	X	X	X		X	X	X
25			X	X	X	X	X	X	X	X
27		X	X	X	X	X	X	X	X	
30					X	X		X	X	
33					X	X	X	X	X	
34		X	X	X	X	X	X	X	X	X
35								X	X	
36		X	X	X	X	X	X	X	X	
37			X	X	X	X	X	X	X	X
38	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
40					X	X		X	X	
41		X	X	X	X	X	X	X	X	X
43		X	X	X	X	X				
44		X	X	X	X	X	X	X	X	X
45					X	X	X	X	X	X
46				X	X	X	X	X	X	X
47				X	X	X	X	X		
48			X	X	X	X		X	X	
50				X	X	X		X		
51							X	X	X	X
52			X	X	X	X	X			
54			X	X	X	X		X		X
55						X		X		X
56			X	X	X	X	X		X	X
57						X	X		X	X
60				X	X	X	X		X	X
62	X	X	X	X	X					
64			X	X	X	X	X		X	X
65			X	X	X	X			X	
67	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
68		X	X	X	X	X		X	X	
69	X	X	X	X	X	X	X		X	
70	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
72		X	X	X	X	X	X	X	X	X
73	X	X	X	X	X	X	X		X	
78		X	X	X	X		X	X		
80	X	X	X	X	X					
82		X	X	X	X	X				
83			X	X	X	X	X	X	X	X
84			X	X	X	X		X		X
86			X	X	X	X	X	X	X	X
90	X	X	X	X	X					
98		X	X	X	X	X	X	X	X	X
102			X	X	X					
103	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
123	X	X	X	X	X	X	X			
124		X	X	X	X	X	X	X	X	X
150	X	X	X	X	X	X	X		X	
175	X	X	X							

Intervaly byly vymezovány tak, aby všechny hloubky v intervalu měly v dané klasifikační třídě zastoupení. Např. v pětimetrovém okolí profilu se změřenou hloubkou 16 cm se nenachází desátá (nejvíce mělká) klasifikační třída. Je tedy pravděpodobné, že pokud se tato třída nachází v okolí hlubších profilů, je zde pouze z důvodu velké variability hloubek v okolí

těchto profilů a proto byla tato třída vyřazena z okolí profilů s hloubkou větší nebo rovnou 16 cm. Stejný postup je možné použít pro „hluboké“ profily (první, nejhlubší třída se vyskytuje v okolí profilů max. 150 cm hlubokých).

Postupným omezováním jednotlivých tříd klasifikace („shora“ i „zdola“) bylo možné vymezit intervaly hloubek pro všechny třídy klasifikace tak, aby se s klesajícím číslem třídy hloubka zvyšovala (kromě sedmé třídy). Vymezení jednotlivých intervalů je zobrazeno v tab. č. 27.

Protože v době terénního mapování a v době satelitního snímání se vodní stavy na hlásných profilech lišily o 4-11 cm, nejsou vymezené intervaly absolutním rozsahem hloubek pro jednotlivé třídy. Možnost vymezení intervalů však potvrzuje správnost klasifikace obrazových dat a dokládá schopnost metod zpracování obrazu detekovat struktury pod vodní hladinou a tudíž sledovat variabilitu hloubek. V případě, kdy by výsledek klasifikace nekorespondoval s hloubkovými poměry v korytě, bylo by rozložení tříd klasifikace v okolí profilů náhodné a nebylo by možné pro jednotlivé třídy jednoznačně vymezit spojitě intervaly hloubek.

#### 11.3.4 Vývoj průběhu toku krajinou

Vývoj průběhu toku krajinou byl sledován na podkladě mapy černobílých leteckých snímků z roku 1952, georeferencovaných černobílých leteckých snímků z let 1979 a 1996 a panchromatických satelitních snímků z let 2008 a 2010. Historické mapové podklady (Pozemkový katastr a mapy II. VM) nebyly z důvodu malé detailnosti zákresu a nedostatečných informací o průtocích v období před rokem 1950 při porovnání použity.

Jako modelové území byl použit úsek toku Studené Vltavy od 6,5 ř. km po ústí do Teplé Vltavy. Tok zde ústí z úzkého a zahloubeného údolí do ploché a široké nivy, od železničního mostu u obce Černý Kříž pak teče podél rašeliniště Mrtvý luh. Okolí úseku toku bylo vždy v podstatě neobydlené, antropogenní vliv je zde patrný pouze v rámci odvodňování rašelinišť (pravidelná čtvercová síť příkopů je patrná na starých leteckých snímcích i na současné ortofotomapě, viz obr. č. 46). Území zůstalo nedotčené lidskou činností jednak z důvodu uzavření pohraničí, po roce 1989 pak díky vyhlášení NP Šumava (1991, úsek toku se nachází v II. zóně NP). Díky těmto podmínkám je možné pokládat úsek toku od roku 1950 za přirozený a neovlivněný lidskou činností.

Celé sledované období (1952-2010) bylo rozděleno do 4 časových úseků (podle roků snímání území) 1952-1979-1996-2008-2010 a pro tato období byly vyhledány vodní stavy, které překročily I. stupeň povodňové aktivity (I. SPA). Na sledovaném úseku toku se nachází jeden hlásný profil - Černý Kříž (profil je umístěn pod železničním mostem na obr. č. 46). V tomto profilu odpovídá I. SPA ( $Q = 30,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ) úrovni  $Q_5$  ( $32 \text{ m}^3/\text{s}$ ), přičemž Sklenář (2006) označil hranici  $Q_5$  jako návrhový průtok pro odolnost dna ( $Q_1$ - $Q_5$ ) a neopevňených břehů ( $Q_5$ - $Q_{20}$ ). Tento průtok je tedy možné označit jako korytotvorný a je pravděpodobné, že pokud došlo ve sledovaném úseku ke změnám trasy toku, pak v souvislosti s průtoky na úrovni  $Q_5$  a vyššími. Vodní stavy vyšší než I.SPA pro jednotlivá časová období jsou zapsány v tab. č. 28.



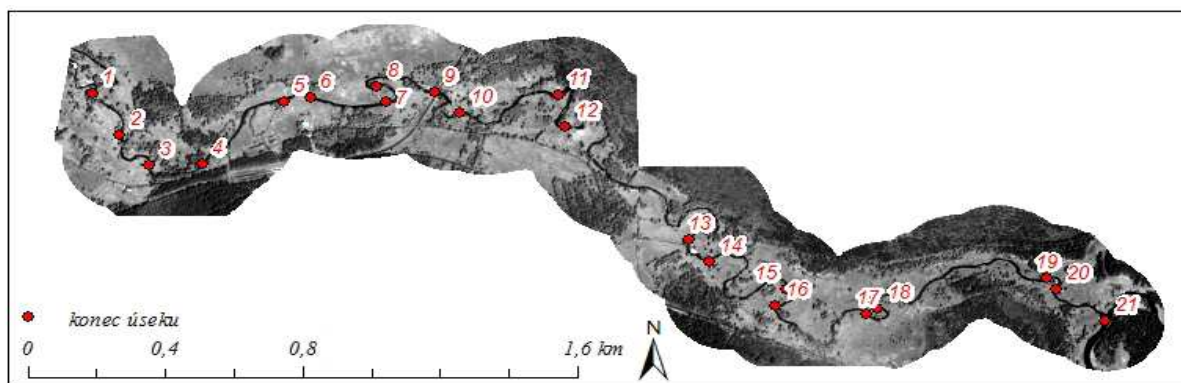


Obr. č. 46: stopy po odvodňování a těžbě rašeliny

Tab. č. 28: vodní stavy vyšší než I.SPA pro jednotlivá sledovaná časová období

výška v cm (I. SPA - 175, II. SPA - 200, III. SPA - 250)				
1952-1979	196	20.11.1971 24.14.1967	186	29.12.1974
1979-1996	230	21.12.1993	176	23.10.1986
1996-2008	216	12.8.2002	179	15.9.1998
2008-2010	cca 228	24.6.2009	cca 190	18.4.2009

Na podkladu obrazových dat z jednotlivých let byl zakreslen průběh trasy toku a daný zákres toku byl porovnáván se zákresem trasy toku z následujícího období. Na základě porovnání byl sledovaný úsek toku rozdělen do 21 (z hlediska charakteru změny homogenních) úseků. Vymezení těchto úseků je zobrazeno na obr. 47, změna délky úseků a popis charakteru úseku a jeho změny je zapsán v následující tabulce 29.



Obr. č 47: Vymezení jednotlivých charakterově homogenních úseků

Tab. č. 29: Popis charakteru a změn jednotlivých úseků ve sledovaném období, délka úseku v metrech

úsek	rok	Délka	změna	popis úseku	úsek	rok	délka	změna	popis úseku
1	1952	546		vytvoření druhého ramene koryta v období 1996-2008	12	1952	178		zužování a ústup jesepu a utržení břehu a opětovné zanášení a zarůstání v oblasti před výsepem v období 1952-2010
	1979	581	35			1979	166	-11	
	1996	689	108			1996	164	-3	
	2008	985	296			2008	161	-3	
	2010	1001	16			2010	161	0	
2	1952	224		mírně zvlněný úsek toku, ve sledovaném období bez výrazných změn	13	1952	985		úsek se zákrutami bez výrazných změn ve sledovaném období
	1979	231	7			1979	999	14	
	1996	227	-4			1996	1000	1	
	2008	231	4			2008	1006	6	
	2010	228	-3			2010	1005	-1	
3	1952	128		mírně zvlněný úsek toku, ve sledovaném období zdůraznění zákrut, v porovnání s PK protržení šíje a její další vývoj	14	1952	67		vytvoření zákruty a sedimentační lavice při ústí bezejmenného přítoku v období 1952-1996
	1979	137	10			1979	69	2	
	1996	147	10			1996	77	8	
	2008	156	9			2008	82	5	
	2010	155	-1			2010	82	-1	
4	1952	137		úsek toku zakrytý vegetací, není možné porovnávat vývoj	15	1952	540		zákrutový úsek bez výrazných změn ve sledovaném období, při srovnání s PK došlo k zaškrcení meandru
	1979	146	9			1979	546	6	
	1996	142	-4			1996	550	4	
	2008	141	0			2008	554	4	
	2010	142	1			2010	555	2	
5	1952	333		mírně zvlněný úsek toku, ve sledovaném období bez výrazných změn	16	1952	73		vytvoření zákruty v období 1952-1996
	1979	331	-2			1979	77	4	
	1996	330	-1			1996	80	3	
	2008	333	3			2008	81	1	
	2010	330	-3			2010	83	2	
6	1952	127		vytvoření zákruty a oddělení ostrova od levého břehu koryta v období 1996-2008	17	1952	433		zákrutový úsek bez výrazných změn v sledovaném období
	1979	127	0			1979	428	-5	
	1996	130	3			1996	432	4	
	2008	140	10			2008	434	2	
	2010	140	0			2010	433	-1	
7	1952	246		přímý úsek toku, ve sledovaném období bez výrazných změn	18	1952	54		vývoj zákruty v období 1952-1979
	1979	244	-2			1979	67	12	
	1996	248	4			1996	69	3	
	2008	248	0			2008	77	7	
	2010	246	-2			2010	76	-1	
8	1952	91		zdůraznění zákruty a vytvoření ostrova u levého břehu koryta v období 1996-2008	19	1952	603		mírně zvlněný úsek bez výrazných změn ve sledovaném období
	1979	114	23			1979	602	-1	
	1996	118	4			1996	620	18	
	2008	133	16			2008	620	0	
	2010	134	1			2010	615	-5	
9	1952	264		mírně zvlněný úsek toku, ve sledovaném období bez výrazných změn	20	1952	236		protržení šíje zákruty v období 1952-1979 a její následné zaškrcení v období 1979-1996
	1979	269	6			1979	93	-144	
	1996	272	3			1996	100	7	
	2008	271	-1			2008	103	3	
	2010	275	4			2010	101	-2	
10	1952	129		úsek toku pod žel. mostem (s lokalizací	21	1952	190		zvlněný průběh toku při ústí do Teplé Vltavy bez
	1979	137	8			1979	196	6	

	1996	151	15	hlásného profilu sítě ČHMÚ), protržení šije zákruty v období 2008-2010		1996	194	-2	výrazných změn v sledovaném období, v porovnání s PK změna polohy ústí
	2008	164	12			2008	192	-2	
	2010	104	-60			2010	195	4	
11	1952	343		mírně zvlněný úsek toku, ve sledovaném období bez výrazných změn					
	1979	336	-7						
	1996	344	8						
	2008	344	0						
	2010	341	-3						

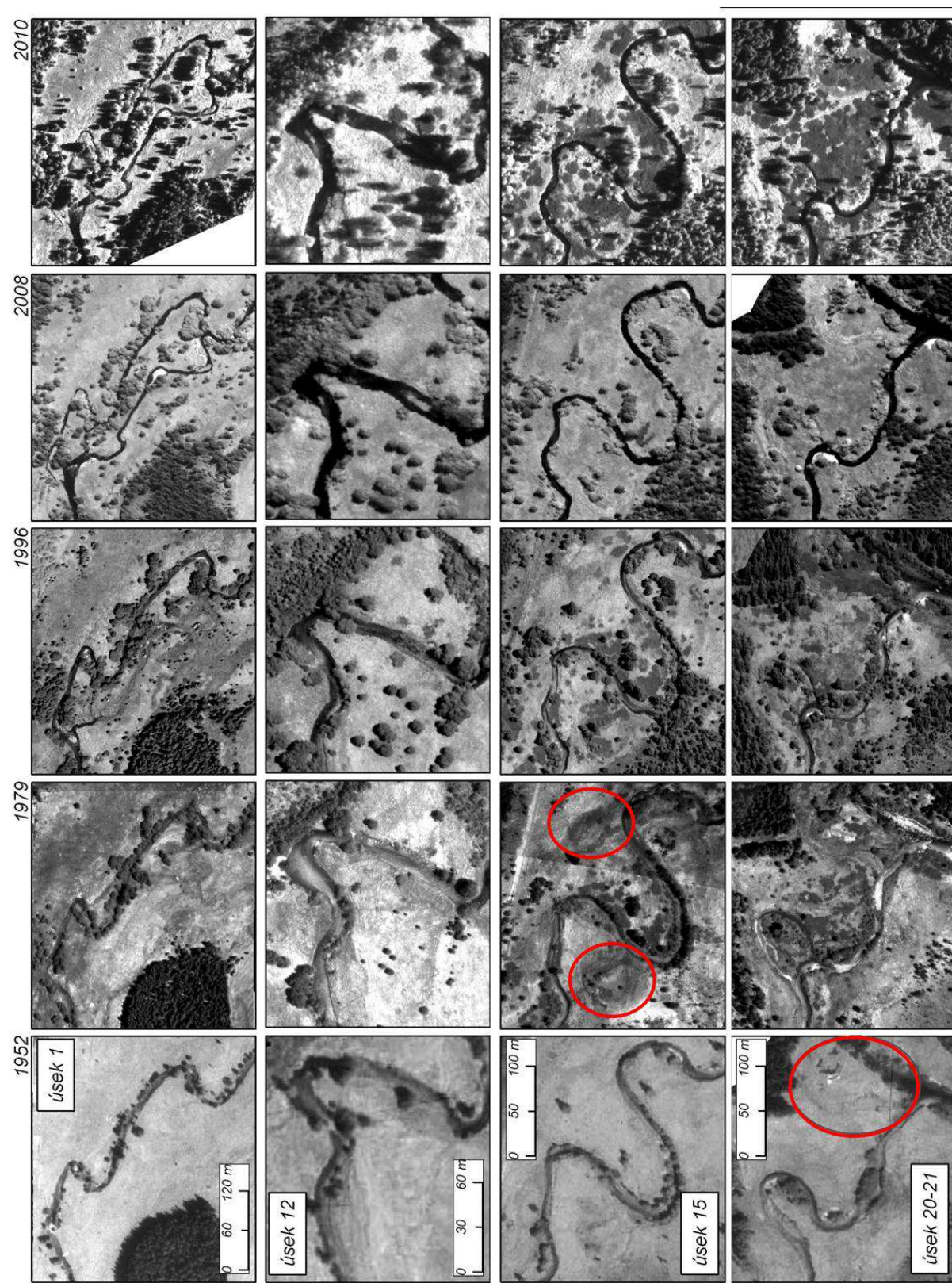
V rámci sledovaného úseku toku byly vymezeny tři typy úseků:

- úseky s rovnoměrným vývojem v celém sledovaném období –vývoj koryta byl zaznamenán především během let 1952-1996
- úseky s dynamickým vývojem během jednoho období a rovnoměrným vývojem v dalších obdobích – k nejvýraznějším změnám docházelo v období 2008-2010 a 1996-2008.
- úseky bez výrazných změn v celém sledovaném období (identifikovány menší změny v šíři toku, vzhledem k nízké kvalitě obrazu leteckých snímků a možné chybě při georeferencování však změny nebyly průkazné)

Změna trasy toku v rámci sledovaného úseku neprobíhá v celé jeho délce, ale pouze v izolovaných úsecích, a to jak pozvolným vývojem v celém sledovaném období, tak i výrazným vývojem během jednoho období. Na více než 60 % délky sledovaného úseku toku nebyly průkazné změny trasy toku identifikovány, přičemž tyto úseky se z hlediska charakteru přírodních podmínek a možného antropogenního ovlivnění neodlišovaly od úseků, na nichž změna trasy toku identifikována byla. Zároveň úseky bez změn trasy toku nebylo možné charakterizovat ani z hlediska průběhu toku krajinou – nezměněny zůstaly přímé, mírně zvlněné i zákrutovité úseky. Z toho důvodu nebylo možné na sledovaném úseku toku identifikovat faktory, které by změny v korytě a následný vývoj koryta podmiňovaly.

Vývoj průběhu trasy toku ve vybraných úsecích je zobrazen na následujícím obr. č. 48.





Obr. č. 48: Vývoj průběhu trasy toku ve vybraných úsecích

## 12 Modelové území Blanice

Hlavní tok Blanice byl zhodnocen distanční metodou QuaWaDis, která byla na horním toku (88,2 ř. km – v.n. Husinec) doplněna o informace získané ze zpracování obrazu satelitního snímku a z terénního mapování akumulčních tvarů. Na dolním toku Blanice (v.n. Husinec-ústí) bylo provedeno terénní mapování, během kterého byly sledovány parametry hodnocení, které byly v rámci hodnocení Rolavy nejčastěji hodnoceny terénní a distanční metodou rozdílně. Sledováno bylo zahluubení koryta toku, charakter břehové vegetace a upravenost koryta toku.

### 12.1 Charakteristika toku Blanice

Veškeré níže uvedené skutečnosti (pokud nebylo uvedeno jinak) byly získány z databáze DiBaVod, portálu veřejné správy [www.cenia.cz](http://www.cenia.cz) a webových stránek [www.chmi.cz](http://www.chmi.cz). Na obr. č. 49.1 je zachycena lokalizace území v přehledové mapě, využití půdy ve sledovaném povodí a systém ekologické stability a vymezení CHKO.

Tok Blanice pramení v Želnavské hornatině v rámci geomorfologického celku Šumava v nadmořské výšce 970 m n.m. na severním úpatí Knížecího stolce. Tok dále protéká Prachatickou hornatinou a Bavorovskou vrchovinou v rámci Šumavského podhůří a Blatskou a Putimskou pánví v rámci Českobudějovické pánve. Severně od Putimi v nadmořské výšce 362 m n.m. pak ústí zprava do Otavy.

Z geologického hlediska patří povodí Blanice ke krystaliniku centrální části Českého masivu. V rámci masivu převládají metamorfované horniny, podél vodních toků pak kvartérní sedimenty, na území Českobudějovické pánve pak místy terciérní písky a jíly.

Podle Mapy průměrné roční teploty vzduchu a Mapy průměrného ročního úhrnu srážek v období 1961-1990 (Hottanová, E., Skalák, P., online, [www.chmi.cz](http://www.chmi.cz)) se teplota pohybuje v závislosti na nadmořské výšce v rozmezí 4-8 °C, průměrný roční úhrn srážek klesá s nadmořskou výškou od 800 mm/rok až k 400 mm/rok.

Na hlavním toku Blanice jsou instalovány čtyři hlásné profily vodních stavů – resp. průtoků. V pořadí od pramene k ústí jsou to na 77,1 ř. km hlásný profil Blanický mlýn s průměrným ročním průtokem 0,95 m<sup>3</sup>/s, na 62,15 ř.km hlásný profil Podedvory s  $Q_r = 2,04$  m<sup>3</sup>/s, pod v.n. Husinec na 57,8 ř.km hlásný profil Husinec s  $Q_r = 2,1$  m<sup>3</sup>/s a na 4,2 ř.km hlásný profil Heřmaň s  $Q_r = 4,65$  m<sup>3</sup>/s.

Délka celého toku Blanice byla v prostředí ArcGIS vypočtena na 94,7 km, z toho bylo v rámci hydromorfologického monitoringu sledováno 88,2 km toku (od ústí po 88,2 říční km, přibližně 1,8 km jižně od obce Arnoštov). Plocha povodí vymezená rozvodnicí hlavního toku Blanice se závěrovými profily Dubského a Zlatého potoka, byla vypočtena na 767,2 km<sup>2</sup>. V rámci typologie vodních toků byl tok Blanice od pramene k ústí v závislosti na nadmořské výšce zařazen do následujících typů – 131- vrchovinné toky úmoří Severního moře na



krystaliniku, 121 – toky středních výšek úmoří Severního moře na krystaliniku a 122 - toky středních výšek úmoří Severního moře na sedimentárních horninách.

Na horním toku Blanice jsou nejvyšší průtoky zaznamenávány v březnu a dubnu během jarního tání, na dolním toku pak v letních měsících v návaznosti na srážkové epizody. Největší podíl objemu odtoku připadá na jarní měsíce (Sitař, 2007). V letech 1934-1939 byla na hlavním toku Blanice vybudována v.n. Husinec.

Z pedologického hlediska převládají kambizemě, ve vyšších nadmořských výškách pak kryptopodzoly. Podél menších vodních toků se vyskytují gleje s místními polohami pseudoglejů, podél hlavního toku Blanice a významnějších přítoků pak fluvizem glejová.

Využití území je zřetelné z obr. č. 49.2. Jižní část území je převážně zalesněná, nebo se zde nachází zemědělské plochy s přirozenou vegetací. Hospodářské nebo antropogenní ovlivnění území podél toku je zde jen výjimečně. Oproti tomu severní část území (přibližně od úrovně v.n. Husinec) je intenzivně zemědělsky využívána, na většině ploch se nachází orná půda, lesy a přirozená vegetace se zde vyskytují pouze zřídka.

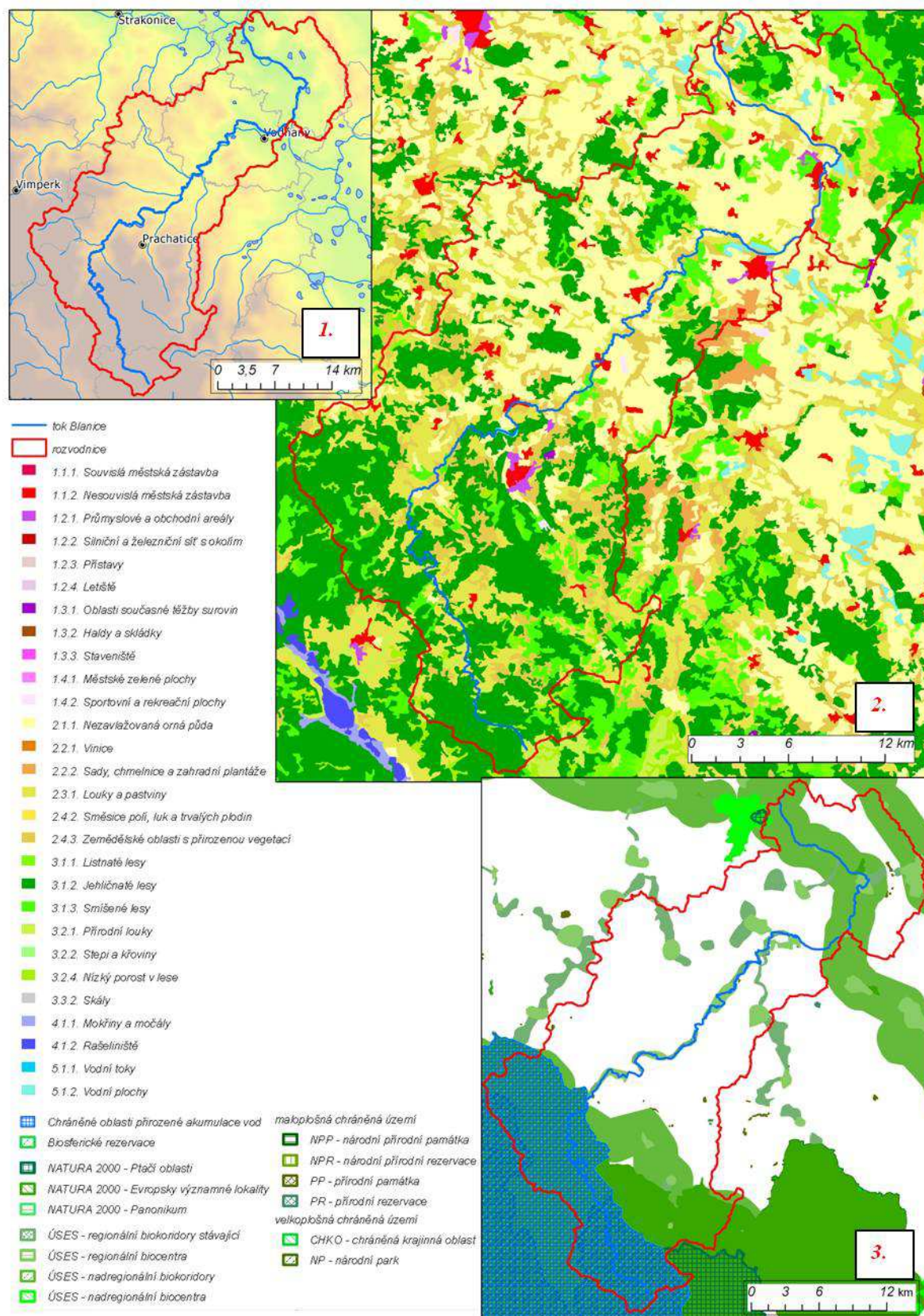
Jižní část sledovaného povodí Blanice zasahuje na území CHKO Šumava, která byla zároveň vyhlášena jako chráněná oblast přirozené akumulace vod. Pramenná oblast toku se nachází na území vojenského výcvikového prostoru Boletice. Dále podél toku byla mezi osadou Dvojdolí a obcí Blažejovice vyhlášena NPP Blanice. Na severu území zasahuje do sledovaného povodí PP Písecké hory. V celém sledovaném území se nachází vysoké zastoupení maloplošných zvláště chráněných území a byl zde identifikován vysoký počet bažin a močálů.

Modelové území Blanice se nachází v západní části Jihočeského kraje a od severu k jihu zasahuje na území okresů Písek, Strakonice, Prachatice a Český Krumlov. Lokalizace území v přehledové mapě ČR je zobrazena na obr. č. 49. V blízkosti toku Blanice se v rámci sledovaného území nachází ve směru proti proudu toku následující města - Protivín s pivovarem Platan a Vodňany s tradičním rybářstvím. Ve větší vzdálenosti od vodního toku se pak nachází Bavorov a Prachatice.

## 12.2 Použitá data

Pro hydromorfologické hodnocení toku Blanice byly použity následující datové zdroje, satelitní snímek z družice QuickBird byl zakoupen v rámci projektu GA ČR č. 205/05/P102 „Hodnocení ekohydrologického stavu vodních toků v kontextu Rámcové směrnice ochrany vod EU“ :

- barevná ortofotomapa (zdroj: geoportal Cenia)
- snímek z družice QuickBird, nasnímáno 15.7.2007 ve 4 spektrální pásmech (B,G,R,NIR) s prostorovým rozlišením 240 cm, panchromatický snímek s prostorovým rozlišením 60 cm. Použit pansharpening kombinací kanálů viditelné části spektra s blízkým infračerveným.



Obr. č 49: Lokalizace území Blanice

- Základní vodohospodářská mapa 1:50 000 (zdroj: databáze HEIS, VÚV), listy 22-34 Vimperk (platná k 31.12.1998), 22-41 Písek (platná k 1.1.1994), 22-43 Vodňany (platná k 30.11.1991), 32-12 Volary (platná k 30.11.1988) a 32-21 Prachovice (platná k 30.11.1990)
- Topografické mapy 1:25 000 (geoportál Cenia)
- mapy Pozemkového katastru (zdroj: ČÚZK)
- mapy II. Vojenského mapování (zdroj: geoportál Cenia)
- vektorová vrstva vodních toků (zdroj: DiBaVod, VÚV)
- hranice aktivní zóny záplavového území pro  $Q_{100}$  (zdroj: DiBaVod, VÚV)
- vektorová vrstva melioračních kanálů (zdroj: DiBaVod, VÚV)
- lokalizace bažin a močálů (zdroj: DiBaVod, VÚV)
- satelitní mapa (zdroj: <http://server.arcgisonline.com>)
- informace o odběrech vod a výpustích do toku (zdroj: databáze HEIS, VÚV)
- ortofotomapa 2006 (snímáno srpen 2004) a aktuální ortofotomapa (snímáno říjen 2011), zdroj mapy.cz

### 12.3 Průběh hodnocení

Hodnocení probíhalo v základní podobě s využitím výsledků zpracování satelitního snímku z družice QuickBird zachycující vodní tok a 500m široký pás území podél toku v úseku 90,2 - 49,7 ř.km (cca 1,3 km nad mostem v obci Arnoštov – 1 km pod mostem v obci Těšovice). Na podkladu zpracování těchto snímků bylo hodnoceno využití DVP a záplavové zóny, přítomnost erozních a akumulčních tvarů a variabilita hloubek.

Výsledky hodnocení byly porovnány s výsledky terénního mapování, které proběhlo ve dnech 28.-29.7.2010 pro úsek toku dolní Blanice (v.n. Husinec – ústí do Otavy, ř. km 55,8 – 0) a ve dnech 4.-5.8.2010 pro úsek toku horní Blanice (90,2 – 57,8 ř. km). Během terénního mapování byly sledovány technické úpravy koryta, zahloubení toku erozní a akumulční tvary. V úseku toku vymezeném říčním km 90,2-49,7 byly pomocí mobilního mapovacího zařízení Mobile Mapper s vestavěnou GPS zakreslovány akumulční tvary. Zákes tvarů byl pak následně porovnán s výsledky zpracování obrazu satelitních snímků reklasifikací obrazu a objektovou klasifikací.

### 12.4 Výsledky terénního mapování dolního toku

Během terénního mapování dolního toku Blanice (hráz v.n. Husinec – ústí do Otavy) byly sledovány parametry upravenosti koryta toku, zahloubení toku a charakter břehové vegetace. Cílem mapování bylo ověření vypovídací schopnosti distančních podkladů.

Výsledky terénního mapování byly následně porovnány s výsledky distančního mapování a to jak z hlediska charakteru úseku toku, tak z hlediska jednotlivých parametrů. V případě hodnocení upravenosti toku byly výsledky mapování doplňkově porovnány s grafickými výstupy hodnocení antropogenní upravenosti koryt toků, které bylo provedeno v rámci řešení



projektu „Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní“ (Langhammer, 2004).

Na základě terénního mapování byly na toku dolní Blanice identifikovány čtyři základní typy úseků toku:

- A. Upravené úseky toku - příčný profil koryta byl upraven na jednotný geometrický tvar, koryto bylo vzhledem k okolnímu terénu zahloubeno, podél toku byly vybudovány ochranné protipovodňové valy a břehy a valy byly v rámci úprav zatravněny a jsou pravidelně sekány (viz obr. č. 50).



Obr. č. 50: Ilustrativní fotografie upravených úseků, tok Blanice, typ A

- B. Krátké úseky toků v blízkosti komunikací, jezů a v obcích - břehy koryta byly zpevněny, vegetace břehů byla z důvodu technických úprav odstraněna, nebo břehy byly zatravněny a jsou pravidelně sekány. Příčný profil koryta má v některých lokalitách geometrický tvar, koryto bylo zahloubeno (viz obr. č. 51). Pravděpodobně jde o historické úpravy koryta toku (především v obcích), které jsou v rámci protipovodňové ochrany udržovány.



Obr. č. 51: Ilustrativní fotografie krátkých upravených úseků, tok Blanice, typ B

- C. Staré úpravy toku – úseky, kde koryto toku vykazuje známky technických úprav (jednotná šíře koryta, zahloubení toku), ale morfologie a vegetace břehů má přirozený charakter (viz obr. č. 52). Jedná se pravděpodobně o staré neudržované úpravy. Tyto typy úseků se od předchozího typu odlišují především charakterem břehové vegetace.



Obr. č. 52: Ilustrativní fotografie upraveného úseku toku s břehovou vegetací bez významného antropogenního ovlivnění, tok Blanice, typ C

- D. Přirozený charakter toku – úseky bez technických zásahů do morfologie koryta, koryto nebylo zahloubeno, vegetace břehů není významně antropogenně ovlivňována a je tvořena bylinným, keřovým a stromovým patrem (viz obr. č. 53).



Obr. č. 53: Ilustrativní fotografie neupraveného úseku toku s břehovou vegetací bez významného antropogenního ovlivnění, tok Blanice, typ D

V rámci porovnání byly informace z distančního hodnocení použity tak, aby úseky toku bylo možné charakterizovat v souladu s výše uvedenými typy úseků identifikovaných v terénu. V tab. č. 30 je uvedena definice jednotlivých typů úseků pomocí sledovaných parametrů pro distanční a terénní mapování. Typy úseků byly popsány i na základě změny průběhu toku krajinou v porovnání s mapami II. VM.

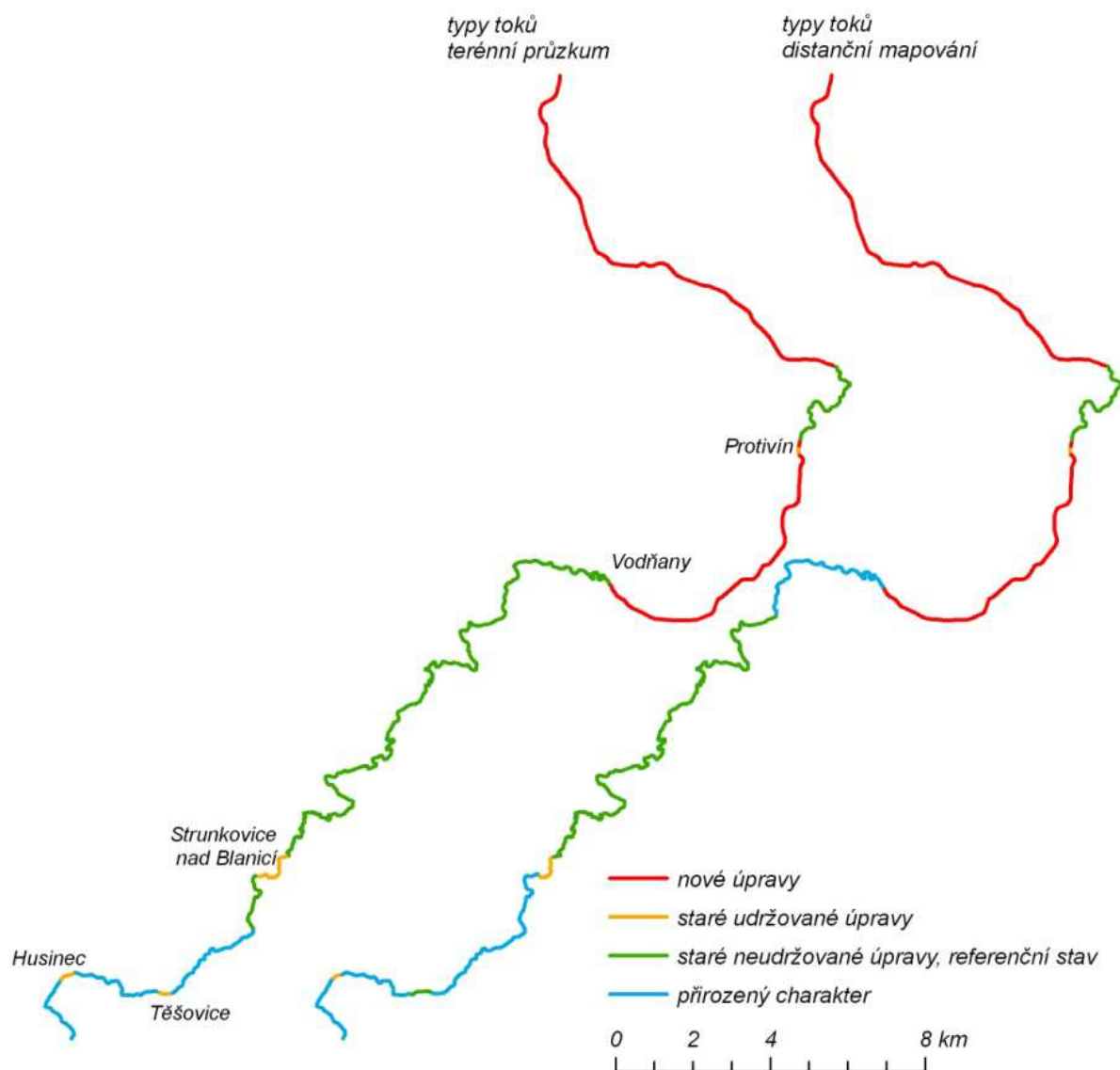


Tab. č. 30: Popis jednotlivých typů toků pomocí sledovaných parametrů

	terénní mapování	distanční hodnocení
A.	- geometrický tvar koryta - zahloubený - zatravněné břehy, sečené	- zakres úpravy - zakres terénního zářezu - zatravněné břehy
	neodpovídá průběhu toku na II. VM → <b>nové úpravy</b>	
B.	- geometrický tvar koryta - zahloubený - zatravněné břehy, sečené	- zakres úpravy - bez zakresu terénního zářezu - technické úpravy břehů, zatravněné břehy, zahrady
	odpovídá průběhu toku na II. VM → <b>staré udržované úpravy v obci a blízkosti jezů a mostů</b>	
C.	- přirozený charakter, jednotná šíře toku - mírně zahloubený, strmé břehy - charakter vegetace bez ovlivnění (bylinné, keřové a stromové patro)	- bez zakresu úpravy - zakres terénního zářezu - charakter vegetace bez ovlivnění
	odpovídá průběhu toku na II. VM → <b>staré neudržované úpravy, referenční stav</b>	
D.	- přirozený charakter koryta - nezahlobený - charakter vegetace bez ovlivnění (bylinné, keřové a stromové patro)	- bez zakresu úpravy - bez zakresu terénního zářezu - charakter vegetace bez ovlivnění
	odpovídá průběhu toku na II. VM → <b>přirozený charakter toku, referenční stav</b>	

### 12.5 Výsledky porovnání distančního a terénního hodnocení na dolním toku Blanice

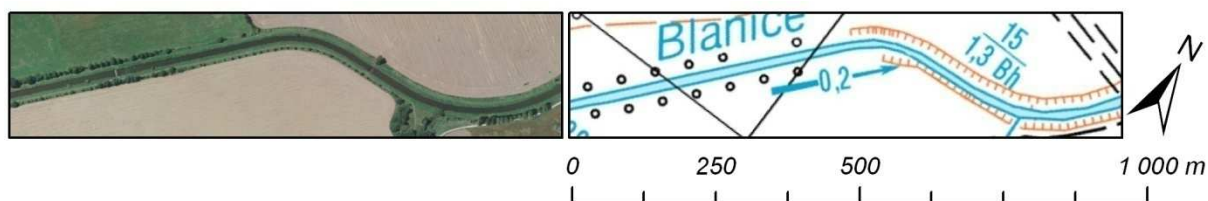
Grafické porovnání typů úseků zjištěných v terénu a na základě distančních podkladů je zobrazeno na obr. č. 54. Z porovnání vyplývá, že obě metody shodně identifikovaly skupinu toků A., tedy nejvíce antropogenně ovlivněné úseky. Obě metody také identifikovaly krátké upravené úseky toku v obcích, přičemž během terénního mapování bylo zjištěno intenzivnější ovlivnění, než v případě distančního hodnocení (v distančních podkladech nebyly zakresleny terénní zářezy, pravděpodobně z důvodu přeplněnosti mapy). Uvedené porovnání dokumentuje skutečnost, že pomocí distančního hodnocení je možné spolehlivě identifikovat antropogenně ovlivněné úseky a úseky s přirozeným charakterem. V případě úseků v zastavěném území je nutné dodatečné terénní mapování. Distanční metoda také v porovnání s terénním mapováním obecně mírně zlepšuje výsledný kvalitativní stav sledovaného úseku (neidentifikuje všechna antropogenní ovlivnění).



Obr. č. 54: Grafické porovnání lokalizace typů úseků na základě výsledků terénního a distančního mapování

Z porovnání jednotlivých sledovaných parametrů dále vyplynulo:

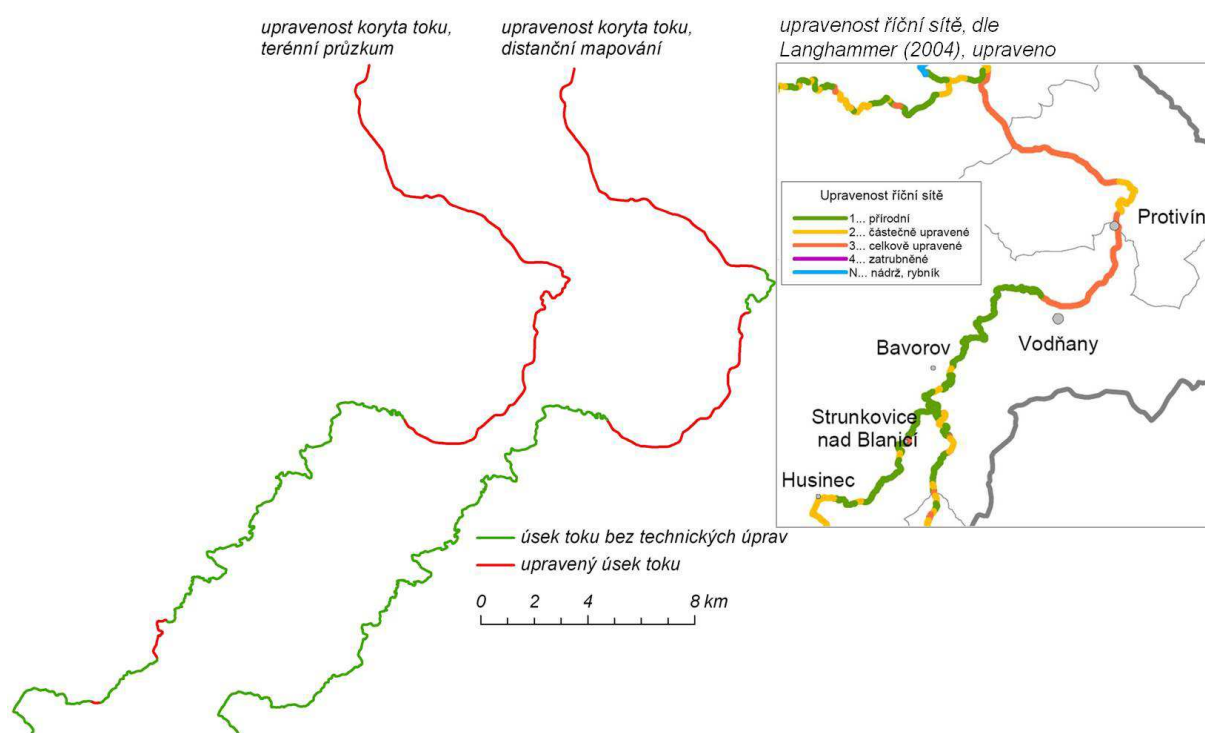
- v zastavěném území chybí v topografických mapách 1:25000 zákres terénních zářezů (pravděpodobně z důvodu přeplněnosti mapy)
- místy chybí zákres terénních zářezů, nutné vizuální porovnání na podkladu leteckých snímků s úseky se zakreslenými zářezy (viz obr. č. 55)



Obr. č. 55: Chybějící zákres terénního zářezu je možné doplnit na základě vizuální interpretace leteckých snímků, tok Blanice pod obcí Vodňany

- mapování zahloubení koryta bylo komplikováno vyššími vodními stavy (na profilu VD Husinec 56-60 cm v době mapování, průměrný roční vodní stav 26 cm). Vyšší vodní stavy mohly ovlivnit hodnocení zahloubení koryta toku především v úsecích typu C- *staré neudržované úpravy* (úsek Strunkovice nad Blanicí – Vodňany).
- v rámci distančního hodnocení bylo technické zpevnění břehů a odstranění břehové vegetace spolehlivě identifikováno jen v úsecích, které nebyly zastíněny vegetací DVP
- v distančních podkladech nejsou zakresleny starší neudržované úpravy koryta toku, které jsou zřetelné v terénu (viz obr. č. 54).

V porovnání distančního mapování s výsledky sledování upravenosti říční sítě podle Langhammera (2004) nebyly během distančního mapování identifikovány částečně upravené úseky toku pod obcí Protivín a pod nádrží Husinec a krátké úseky toku v obcích. Celkově upravené úseky toku a přírodní úseky byly identifikovány shodně (viz obr. č. 56).



Obr. č. 56: Grafické porovnání výsledků mapování upravenosti koryta toku na základě distančního mapování, terénního mapování a hodnocení dle Langhammera (2004).

## 12.6 Hodnocení horního toku Blanice

V případě hodnocení horního toku Blanice byl k dispozici satelitní snímek z družice QuickBird ze dne 15.7.2007, který zachycuje koryto toku a 500 m široký pás území podél obou břehů ve čtyřech spektrálních pásmech (B,G,R,NIR) s prostorovým rozlišením 240 cm a v panchromatické podobě s prostorovým rozlišením 60 cm. Pansharpening snímku byl v prostředí ArcGIS georeferencován a byl vytvořen obraz kombinace kanálů R-NIR-B, který dobře zobrazuje antropogenní plochy, plochy bez vegetačního krytu a zároveň umožňuje mapování hloubek (pásmo NIR lépe prochází vodním sloupcem). Na základě zpracování tohoto obrazu byla sledována variabilita hloubek, land use v záplavové zóně, charakter DVP a

v porovnání s daty z terénního mapování a s leteckými ortofotomapami z různých časových horizontů i vývoj akumulčních tvarů. Zjištěné informace byly použity v základní i rozšířené části hodnocení.

### 12.6.1 *Hodnocení variability hloubek*

Pomocí extenze Feature Analyst pro ArcGIS byla objektovou klasifikací vymezena vodní hladina. V rámci této masky pak byla provedena reklasifikace obrazu do šesti tříd pomocí Jenksova algoritmu přirozených zlomů (Jenks – natural breaks). Úroveň šesti tříd byla zvolena na základě analýzy histogramu tak, aby byl obraz klasifikován do co nejmenšího počtu tříd bez zásadní ztráty vypovídací hodnoty (obrazu morfologie dna koryta). Rastrový obraz byl následně převeden do vektorové podoby a v rámci hodnocených úseků toku byl pomocí kontingenční tabulky spočítán procentuální podíl jednotlivých tříd na celkové hodnocené ploše vodní hladiny.

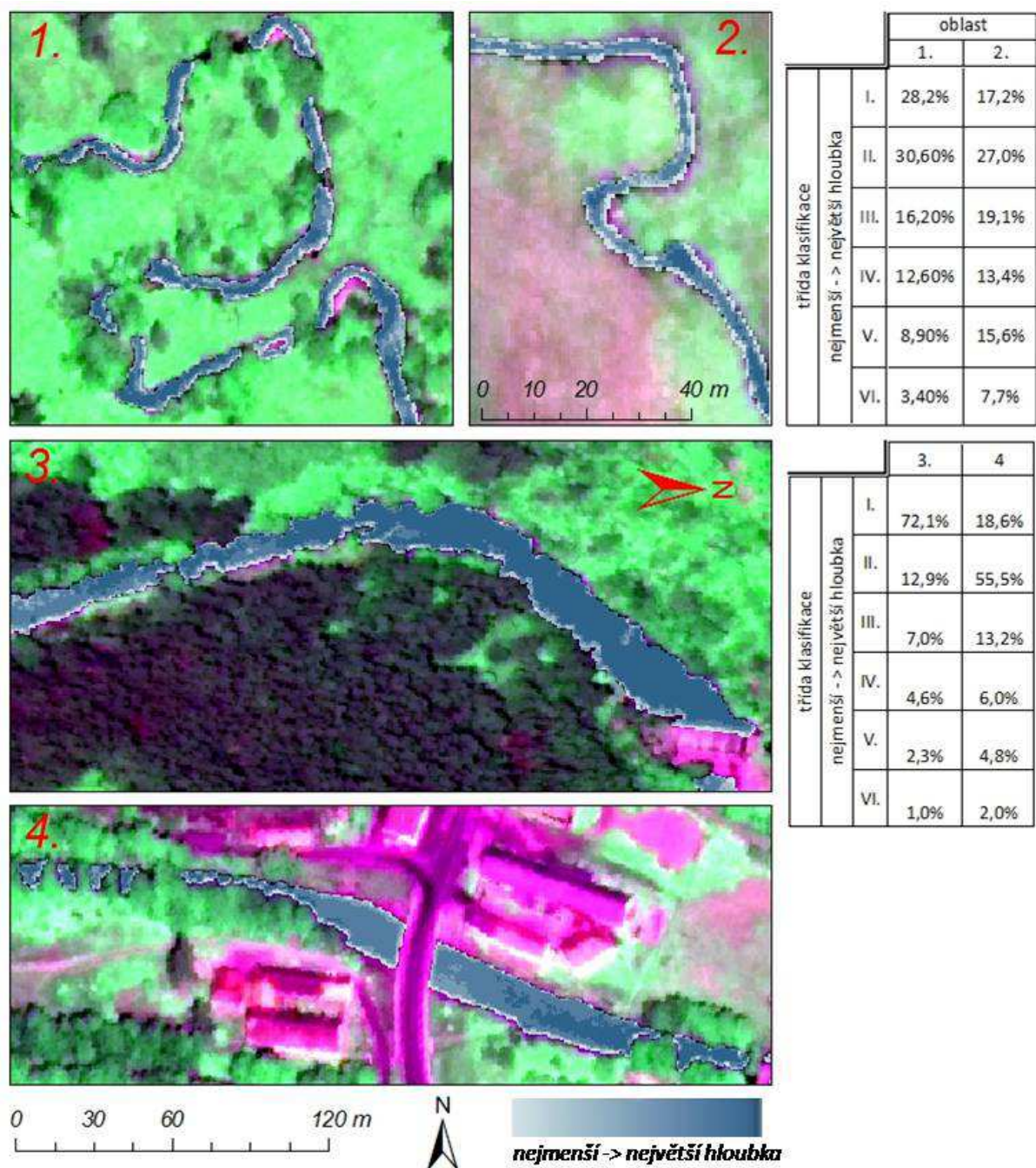
Je nutné zdůraznit, že výsledné třídy není možné na základě dostupných dat ztotožnit s absolutními hodnotami hloubek a interval hloubek v jednotlivých třídách není lineární (prostupnost vody pro světlo s rostoucí hloubkou velmi rychle klesá a je závislá na stávajících fyzikálních podmínkách vody).

Modelový tok Blanice ve sledovaném úseku převážně nedosahuje ve většině plochy koryta takových hloubek, které jsou již pro světlo neprostupné, a bylo tedy možné hodnocení variability hloubek provést. Zároveň zpracování obrazu nebylo komplikováno dlouhými vrženými stíny (snímáno při vysoké výšce Slunce nad obzorem). Krátké úseky koryta toku však byly zakryty vegetací a tak hodnocení variability hloubek probíhalo v nespojitých úsecích.

Jednotlivé výsledné kategorie hodnocení hloubek byly definovány na základě hodnot získaných z reprezentativních oblastí v rámci toku Blanice. Na obr. č. 57 jsou zobrazeny příklady těchto oblastí s tabulkou procentuálního zastoupení jednotlivých intervalů hloubek. Sledovány byly oblasti s přirozeným charakterem koryta toku (pět oblastí), oblasti s antropogenním ovlivněním identifikovaným během terénního mapování (dvě oblasti) a oblasti s hloubkou přesahující hloubku propustnou pro světlo (dvě oblasti).

Na základě těchto hodnot byly stanoveny následující kategorie hodnocení variability hloubek:

- přirozená variabilita hloubek (úseky, kde procentuální podíl žádného intervalu hloubek nepřesahuje 40 % hodnocené plochy vodní hladiny), na obr. 57 oblast 1 a 2
- nízká variabilita hloubek (úseky, kde procentuální podíl jakéhokoli jednoho intervalu hloubek přesahuje 40 % hodnocené plochy vodní hladiny, přičemž tento interval není v daném úseku nejhlubší), na obr. 57 oblast 4



Obr. č. 57: Reprezentativní oblasti pro nastavení hranic pro hodnocení variability hloubek

- variabilitu hloubek není možné hodnotit z důvodu nízké prostupnosti vody pro světlo, nebo z důvodu velkých hloubek (úseky, kde procentuální podíl jakéhokoli jednoho intervalu hloubek přesahuje 40 % hodnocené plochy vodní hladiny, přičemž tento interval je v daném úseku nejhlubší), na obr. 57 oblast 3

Hodnocení je uvedeno v následující tab. č. 31, výsledné hodnoty byly započítány do celkového hodnocení a jsou uvedeny v příloze 2.



Tab. č. 31: Hodnocení variability hloubek na základu zpracování satelitních snímků

1.9	Variabilita hloubek	Přirozená variabilita hloubek	1 b.
		Variabilitu není možné hodnotit	0 b.
		Nízká variabilita hloubek	-1 b.

### 12.6.2 Vývoj akumulčních tvarů

Identifikace akumulčních tvarů probíhala v 10m okolí masky vodní hladiny, pomocí nástrojů extenze Feature Analyst pro ArcGIS. Pomocí objektové klasifikace byly identifikovány plochy bez vegetačního pokryvu, které přímo sousedily s vektorovými objekty vodní hladiny, minimální velikost objektu byla nastavena na 10 m<sup>2</sup>. Antropogenní objekty (např. mosty) detekované v rámci objektové klasifikace byly odstraněny manuálně.

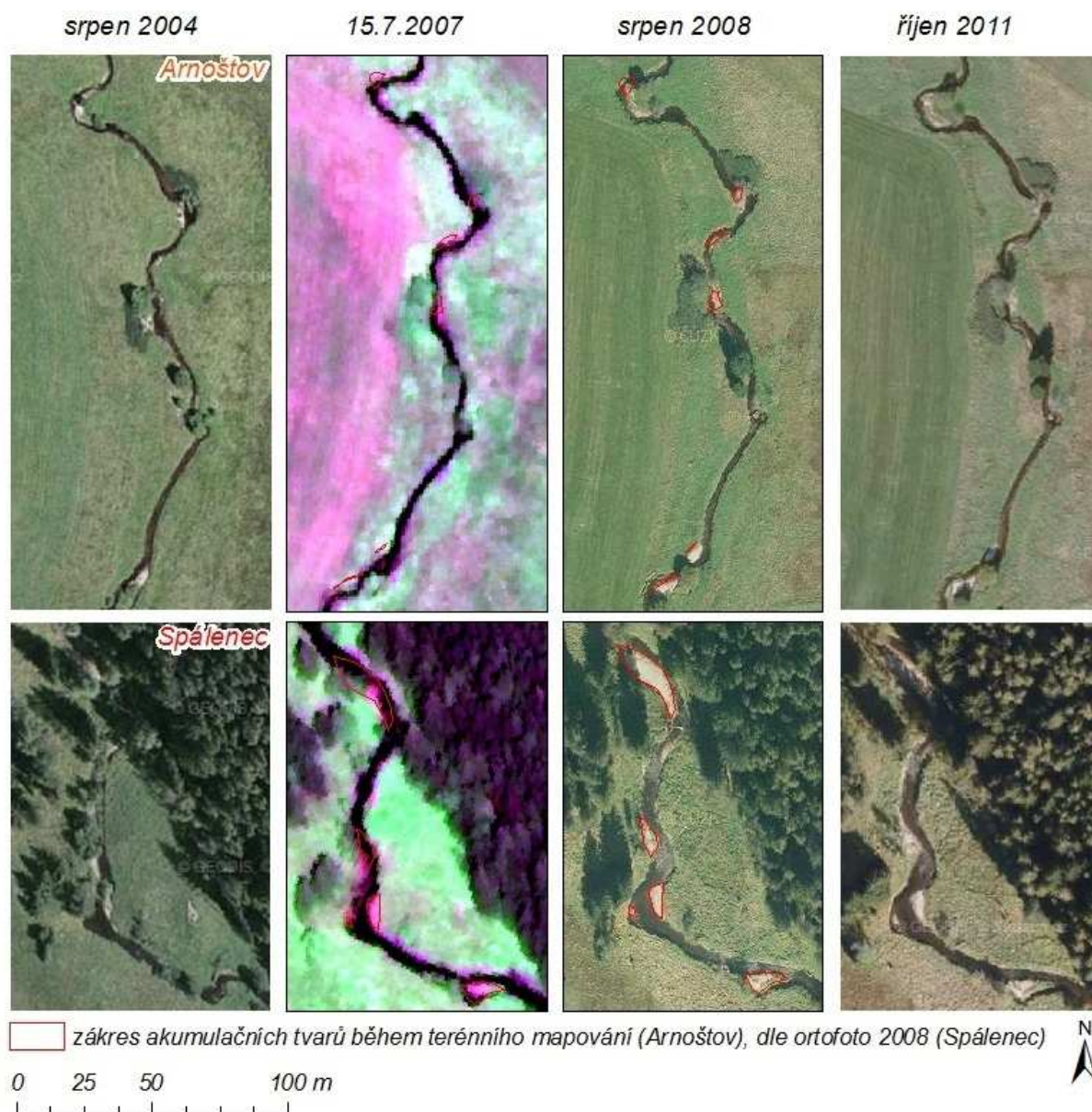
V prostředí ArcGIS následně proběhlo porovnání těchto identifikovaných objektů s objekty, které byly zakresleny pomocí mobilního mapovacího zařízení Mobile Mapper s vestavěnou GPS během terénního mapování. Dalším obrazovým zdrojem pak byla ortofotomapa ze srpna 2008, která je přístupná jako webová mapová služba (WMS) přímo v prostředí ArcGIS, doplnkově pak ortofotomapy na portálu mapy.cz ze srpna 2004 (letecká 2006) a října 2011 (aktuální letecká).

Během terénního mapování bylo zakresleno 72 akumulčních tvarů, objektovou klasifikací bylo v nepřístupných úsecích detekováno dalších 29 tvarů a na podkladu ortofotomapy z roku 2008 bylo zakresleno 33 tvarů. Z uvedených 134 objektů však bylo možné ve všech sledovaných časových horizontech porovnat pouze 95 objektů (42 zakreslených během terénního mapování, 32 zachycených na ortofotomapě z roku 2008 a 21 detekovaných na satelitním snímku z roku 2007), ostatní objekty byly na většině obrazových dat zastíněny, nebo zakryty vegetací.

Sledovaný úsek Blanice byl rozdělen do následujících homogenních celků, v nichž byl sledován charakter fluvialních procesů:

- I. 83,4 – 90,2 ř. km (BLA160-BLA165) – úsek toku se zákresem úpravy, bez zákresu zahloubení, průběh odpovídá historickým podkladům bez antropogenních stupňů v podélném profilu, nad měrným profilem Blanický mlýn, spád 7 ‰
- II. 75,9 - 83,4 ř. km (BLA146-BLA159) – úsek toku bez zákresu úprav, bez zákresu zahloubení, průběh odpovídá historickým podkladům, nad měrným profilem Blanický mlýn, spád 6 ‰
- III. 68,4 – 75,9 ř. km (BLA145) – úsek toku bez zákresu úprav, bez zákresu antropogenního zahloubení, úzké zaříznuté údolí Blanice pod Blanickým mlýnem, zahrnuje PR Na Soutoku, spád 18 ‰
- IV. 58 – 68,4 ř. km (BLA122-BLA144) - úsek toku bez zákresu úprav, bez zákresu zahloubení, průběh odpovídá historickým podkladům, nad v.n. Husinec, spád 8,5 ‰

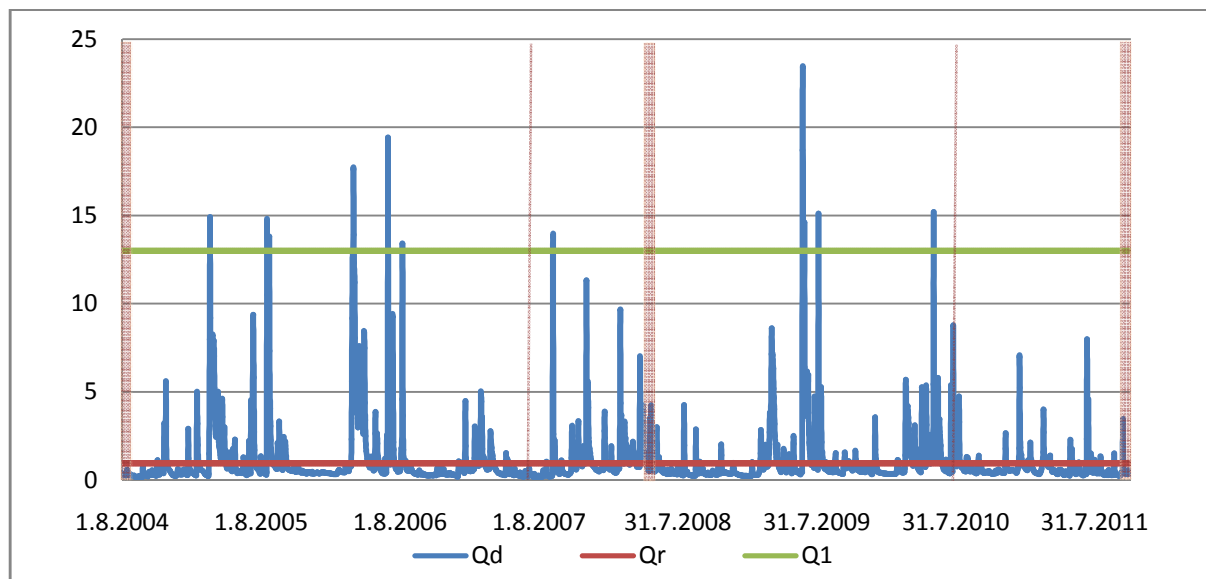
V rámci celku I. bylo na podkladu obrazových dat a terénního mapování detekováno 34 akumulčních objektů, přičemž u 14 z nich se projeví největší změny v období mezi satelitním snímkováním (15.7.2007) a srpnem 2008 (viz obr. č. 58) a dále se výrazně vyvíjely. V rámci celého sledovaného období zůstaly 4 objekty stabilní a 14 objektů se vyvíjelo kontinuálně bez výrazných změn v některém časovém období. Pouze dva objekty zanikly (do roku 2008).



Obr. č 58: Obrazová dokumentace vývoje akumulčních tvarů ve sledovaném období, zobrazeny dvě reprezentativní lokality v rámci celku I.

V grafu na obr. č. 59 jsou znázorněny denní průtoky na profilu Blanický mlýn mezi snímáním v srpnu 2004 a v říjnu 2011. V grafu jsou svislými liniemi vyznačeny období snímání a terénního mapování. Protože nejsou k dispozici přesná data leteckého snímkování (pouze měsíc a rok), nebylo možné stanovit přesnou výšku hladiny, která by mohla rozsah

akumulačních tvarů ovlivnit. Nicméně ve všech uvedených obdobích snímkování byly (kromě dvou dnů v srpnu 2008) průtoky podprůměrné až průměrné.



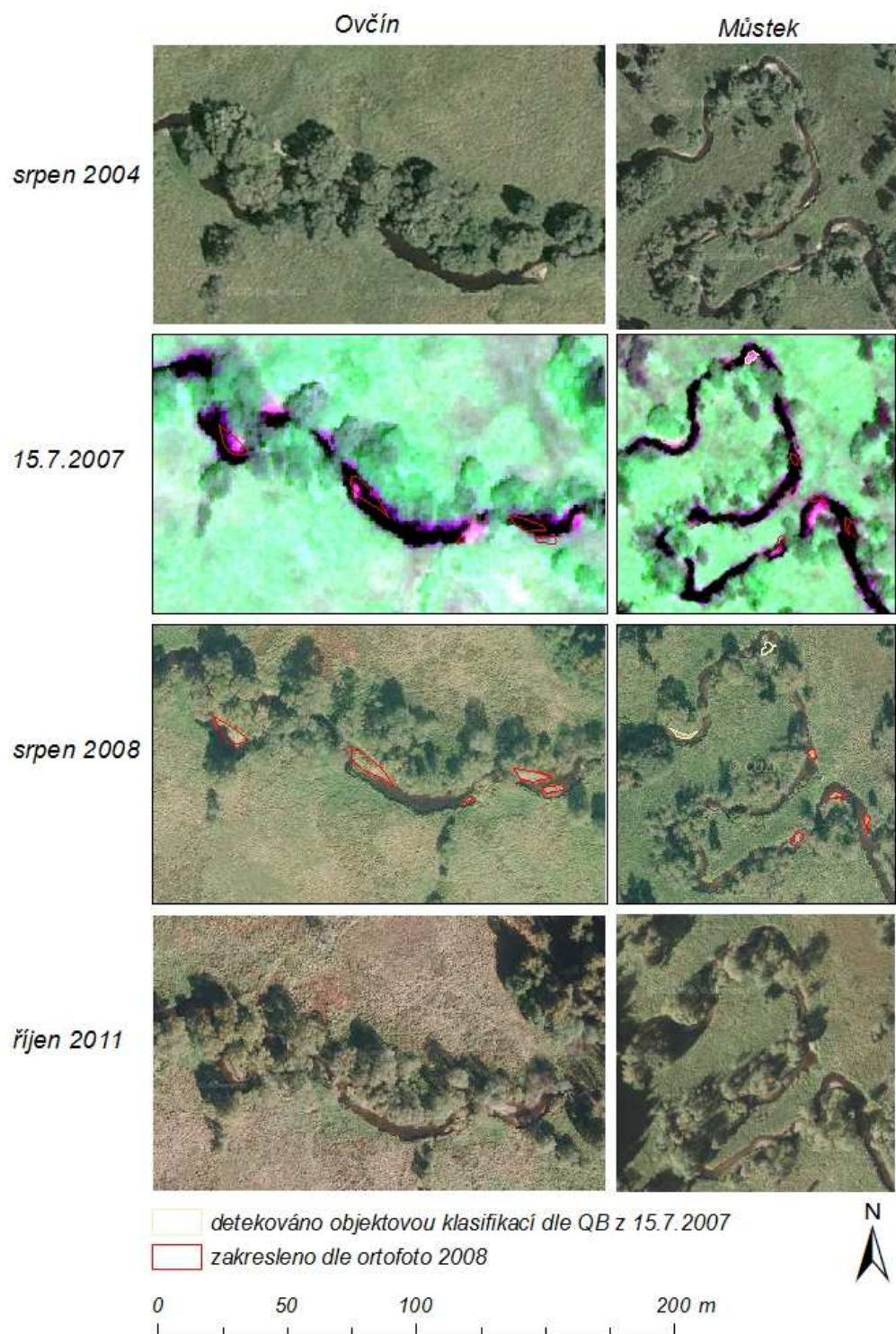
Obr. č. 59: Denní průtoky na profilu Blanický mlýn v období 1.8.2004 – 31.10.2011 s vyznačenými hodnotami pro  $Q_r$  a  $Q_1$  a obdobími snímkování.  
Zdroj dat: ČHMÚ

Vzhledem k rovnoměrnému rozložení průtoků vyšších než  $Q_1$  v rámci celého sledovaného období je přirozený kontinuální vývoj v celém sledovaném období. Výrazný vývoj v období 2007-2008 je možné vysvětlit vyšší četností průtoků vyšších než I.SPA ( $8,77 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Vývoj akumulačních tvarů v rámci celku I. byl hodnocen jako přirozený.

V rámci celku II. bylo detekováno 38 akumulačních tvarů, z nichž tři byly označeny za stabilní v rámci celého sledovaného období, po roce 2007 došlo k výraznému vývoji u 13 tvarů a u 22 tvarů byl zaznamenán kontinuální vývoj. Na obr. č. 60 jsou zobrazeny dvě reprezentativní oblasti.





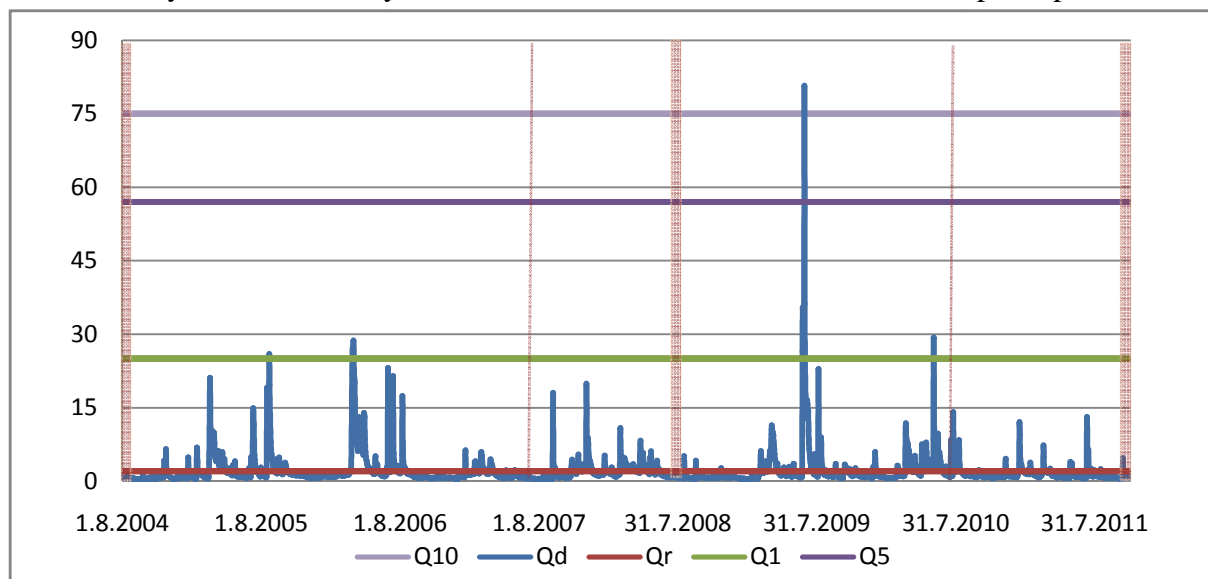
Obr. č. 60: Grafické porovnání vývoje akumulčních tvarů během sledovaného období v rámci celku II., reprezentativní oblasti

Vývoj akumulčních tvarů byl v rámci celku II. hodnocen jako přirozený.

Celek III. se celý nachází v úzkém a hlubokém údolí, na obrazových datech byl tento celek převážně zastíněn nebo překryt vegetací. Z toho důvodu nebyl hodnocen na podkladu

zpracování obrazových dat. Vzhledem k přirozenému charakteru celého údolí a absenci antropogenního ovlivnění byl vývoj akumulčních tvarů označen jako přirozený.

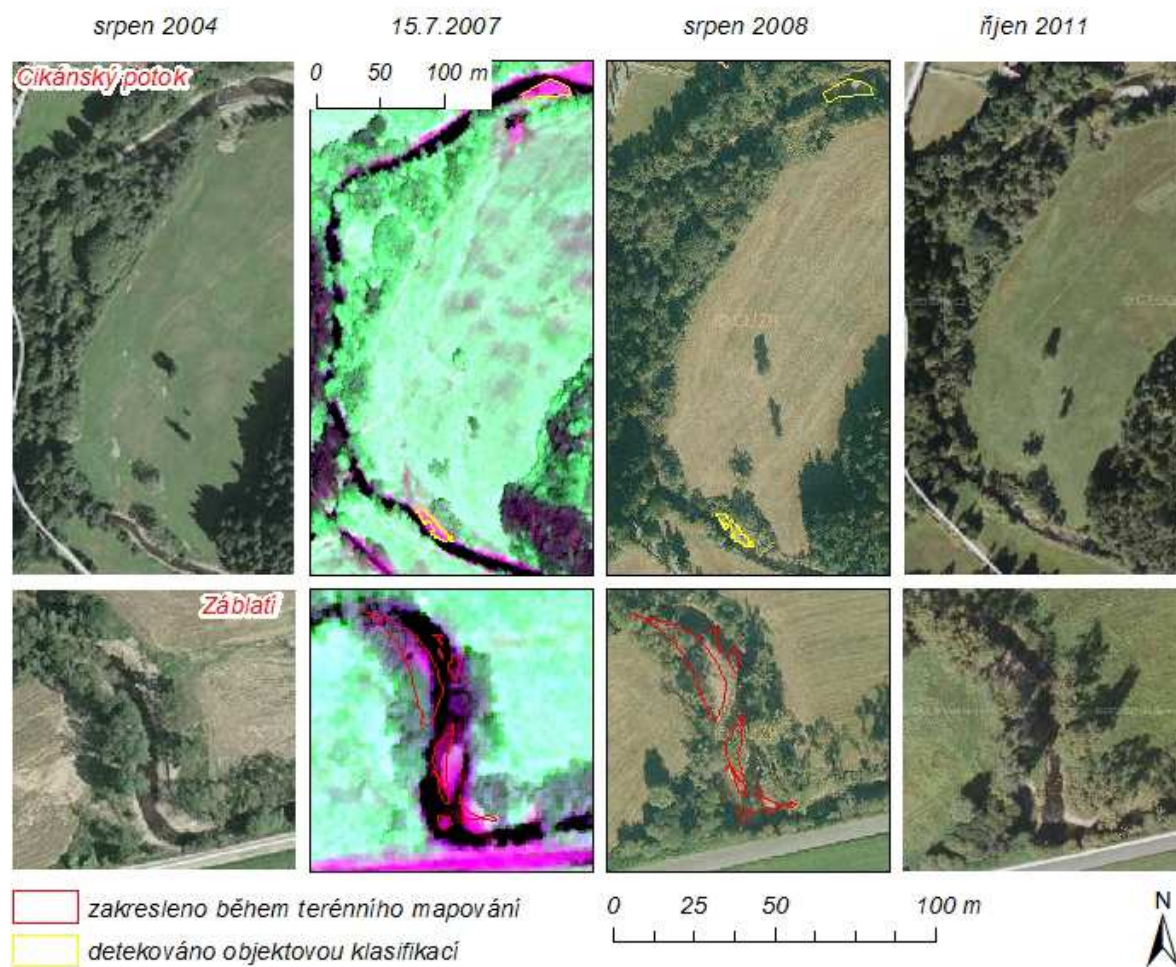
Celek IV. byl posuzován vzhledem k průtokům zaznamenaným na profilu Podedvory. V grafu na obr. č. 61 jsou zobrazeny průtoky, z nich je možné usuzovat na největší vývoj tvarů po roce 2008. V roce 2002 prošla povodím Blanice povodeň ( $106 \text{ m}^3/\text{s}$ ), která za sebou zanechala velké změny v korytě toku (projevy na fotomapě z června 2003 na [mapy.cz](http://mapy.cz)). Na fotomapě ze srpna 2004 je zřetelné, že poničené úseky koryta byly upraveny, břehy stabilizovány kamennou dlažbou a akumulční tvary z koryta toku odstraněny. Z toho důvodu je možné očekávat významné změny v akumulčních tvarech i v období po srpnu 2004.



Obr. č. 61. : Denní průtoky na profilu Podedvory ve sledovaném období, vyznačeny jednotlivé časové horizonty,  $Q_r$ ,  $Q_1$ ,  $Q_5$ , a  $Q_{10}$

Ve sledovaném celku bylo identifikováno 23 akumulčních tvarů, u 12 z nich byl zaznamenán významný vývoj po roce 2004, u pěti tvarů byl zaznamenán vývoj po roce 2008 a šest tvarů bylo označeno jako stabilní. Na obr. č. 62 je graficky zobrazen vývoj akumulčních tvarů ve dvou lokalitách. Lokalita Záblatí je z hlediska počtu akumulčních tvarů v rámci celku IV. výjimečná. Běžná četnost akumulčních tvarů je zřetelná z lokality Cikánský potok. V lokalitě Záblatí jsou na snímku ze srpna 2004 zřetelné úpravy a zpevnění koryta, v porovnání se satelitním snímkem nastal po roce 2004 výrazný vývoj akumulčních tvarů.





Obr. č. 62: Grafické porovnání vývoje akumulčních tvarů během sledovaného období v rámci celku IV., reprezentativní oblasti

V rámci celku IV. byl výskyt a vývoj akumulčních tvarů hodnocen jako „osamocený výskyt“.

### 12.6.3 Hodnocení využití DVP a záplavové zóny

Pro hodnocení využití DVP byla vytvořena maska 30m okolí kolem vodní hladiny. Tato maska byla spojena s objektem záplavové zóny  $Q_{100}$  a obraz satelitního snímku byl v rámci této zóny reklasifikován pomocí Jenksova algoritmu.

Z charakteru obrazových dat ve vymezené masce bylo zřejmé, že hodnocené území není významně využíváno. Z toho důvodu byly klasifikovány pouze plochy bez vegetačního krytu a označeny jako zastavěné území, ve třech lokalitách pak tyto plochy byly manuálně překlasifikovány jako pole.

V případě hodnocení existence DVP byly takto identifikovány úseky s částečně existujícími (přítomnost zpevněné plochy v pásu ve vzdálenosti 10-30 m od toku), resp. neexistujícími vegetačními pásy (přítomnost zpevněné plochy v pásu podél toku užším než 10 m).

Pro hodnocení využití záplavové zóny bylo pomocí kontingenční tabulky spočítáno relativní zastoupení zpevněných ploch v rámci ploch jednotlivých úseků. Výsledné hodnocení záplavové zóny bylo vypočteno následovně:

$$(relativní\ podíl\ zpevněných\ ploch)*(-2) + (relativní\ podíl\ nezpevněných\ ploch)*2$$

Výsledné hodnoty byly zaokrouhleny na jedno desetinné místo a započteny do celkového hodnocení pro pravý a levý břeh zvlášť. Pokud byl v úseku detekován objekt zpevněné plochy do 5 % rozlohy celé hodnocené plochy úseku, byl tento objekt označen pouze jako překážka v proudění (např. dům v záplavové zóně) a do hodnocení využití záplavové zóny nebyl započten.

#### 12.6.4 Výsledné hodnocení

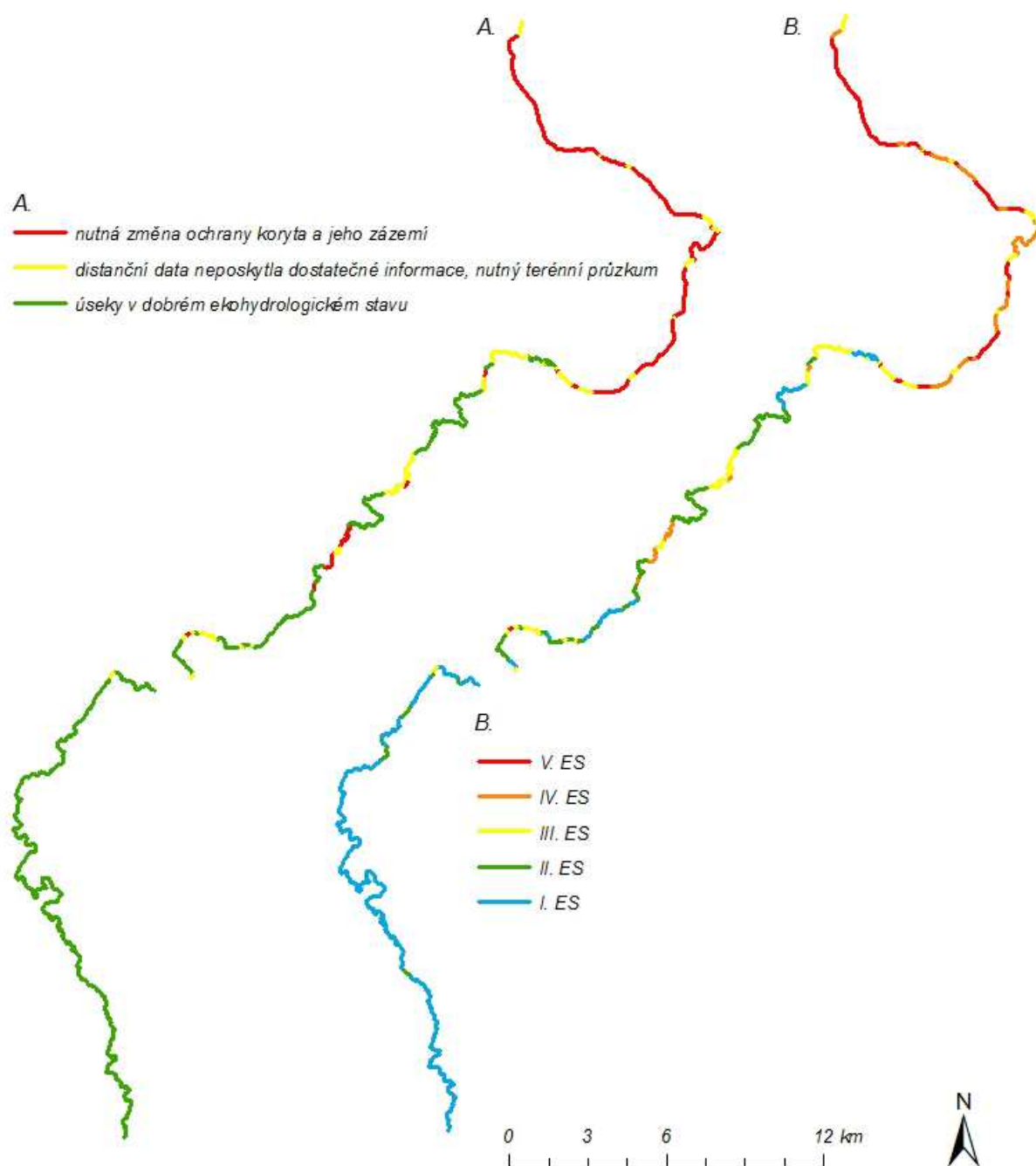
Výsledné bodové ohodnocení jednotlivých úseků v případě maximálního záporného/kladného hodnocení nabývalo hodnot v intervalu  $<-28; 19>$ , výsledky se však pohybovaly v intervalu hodnot  $<-22; 19>$ . Úseky toků byly klasifikovány z hlediska rozdělení úseků na úseky ve špatném hydromorfologickém stavu, kde je nutná změna ochrany koryta toku a jeho zázemí  $<-28;-5>$ , úseky v dobrém hydromorfologickém stavu  $(5;19>$  a úseky, kde distanční data neposkytla dostatečné informace a je zde nutný terénní průzkum  $<-5;5>$ . Zároveň byly úseky toků klasifikovány do pěti hydromorfologických stupňů v souladu s požadavky RSV (viz tab. 32). Výsledná klasifikace je graficky zobrazena na obr. č 63.

Tab. č. 32: Bodové rozpětí hodnot pro jednotlivé ES

I. ES	II. ES	III. ES	IV. ES	V. ES
$<19;12>$	$<12;5>$	$<5;-5>$	$<-5;-14>$	$<-14;-28>$

Z porovnání výsledků s podkladovými mapami (ortofoto, chráněná území, corine) vyplývá, že pomocí distanční metody hodnocení je možné identifikovat úseky toku bez výrazného antropogenního ovlivnění jak z hlediska koryta toku, tak jeho zázemí (plochy podél toku nejsou ovlivněny intenzivní zemědělskou nebo průmyslovou činností). Do této skupiny úseků bylo klasifikováno 52 km toku (téměř 60 % hodnocené délky Blanice) rozdělených do 83 úseků. Tyto úseky se nachází především na horním toku Blanice na území CHKO Šumava a na středním toku Blanice mimo obydlené oblasti.

Pod obcí Vodňany protéká Blanice zemědělsky využívanou krajinou. Podle podkladových dat zde bylo koryto toku upraveno, zahloubeno a v porovnání s mapami II. Vojenského mapování byl i změněn průběh toku krajinou. V korytě se místy nachází stupně v podélném profilu, břehy byly upraveny na jednotný profil a zatravněny, doprovodné vegetační pásy neexistují a záplavová zóna je využívána až k břehům toku. Do této skupiny bylo klasifikováno 23,5 km toku (přibližně 27 % hodnocené délky Blanice) rozdělených do 49 úseků.



Obr. č.. 63: Grafické zobrazení výsledků distančního hodnocení hydromorfologického stavu toku Blanice

V rámci sledovaného toku Blanice bylo vymezeno 33 úseků (12,5 km toku), kde výsledky distančního hodnocení neposkytly dostatečné informace nebo hodnocení hydromorfologického stavu toku nebylo jednoznačné. Do této skupiny byly zařazeny dva typy úseků:

- krátké úseky toku v obcích nebo v blízkosti významně antropogenně ovlivněných ploch (lom nad obcí Těšovice, pila v blízkosti obce Dvory)
- delší úseky toku v krajině, kde je koryto toku v dobrém hydromorfologickém stavu a zázemí toku je antropogenně ovlivněno, nebo naopak koryto toku bylo upraveno,

narovnáno, zahloubeno a byly zde vybudovány stupně v podélném profilu, ale zázemím toku je v dobrém hydromorfologickém stavu

V případě klasifikace podle potřeb RSV bylo 40,3 km toku (55 úseků) zařazeno do I.ES, do II. ES bylo zařazeno 11,8 km toku (28 úseků), do III. ES bylo zařazeno 12,5 km toku (33 úseků), do IV. ES bylo zařazeno 11,7 km toku (22 úseků) a do V. ES bylo zařazeno 11,9 km toku (27 úseků).

Z tabulky výsledných hodnot (příloha 2.) vyplývá, že u úseků klasifikovaných do II. ES byly v porovnání s úseky zařazených do I. ES v záplavové zóně identifikovány překážky v proudění a nebyly identifikovány retenční prostory. V korytu toku byly v některých úsecích na podkladu tematických map detekovány stupně v podélném profilu, koryto toku bylo na leteckých snímcích zakryto břehovou vegetací a nebylo možné hodnotit přirozené fluvialní procesy.

U úseků klasifikovaných do IV. ES byla v polovině případů kladně hodnocena pouze existence DVP na jednom břehu. U úseků klasifikovaných do V. ES se kladné bodové ohodnocení v podstatě nevyskytuje.

---

## SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ, DISKUZE A ZÁVĚR

---

### 13 Shrnutí výsledků

Tato kapitola je souhrnem výsledků dosažených jak v metodické, tak aplikační části v jednotlivých modelových územích.

#### 13.1 Definice distanční metody

Při definici distanční metody byl kladen důraz na její jednoduchost a jednoznačnost. Podle Greškové (2004) je při sestavování návrhu nutné zohledňovat skutečnost, že postup musí být použitelný i pro ne-experty, aby ho po zaškolení bylo možné aplikovat v rutinním monitorovacím programu.

V první řadě byly tedy definovány parametry, které jsou jednoznačně hodnotitelné na podkladu tematických map – upravenost koryta toku, změna charakteru průběhu toku krajinou, zahloubení koryta toku a úpravy podélného profilu (příčné stavby v korytu). Hodnocení těchto parametrů je založeno na sledování zákresu prvku v mapě a lze jej považovat za objektivní.

Dále byly definovány parametry hodnocení založené na interpretaci leteckých, nebo satelitních snímků – charakter břehové vegetace, existence DVP, charakter DVP a využití záplavové zóny. Do hodnocení těchto parametrů již vstupuje jistá míra subjektivního hodnocení jak z hlediska pohledu mapovatele, tak z hlediska definice jednotlivých tříd hodnocení. Je zde tedy již nutná schopnost interpretace snímků.

Podle Šípka (2006) stojí hydromorfologické hodnocení v současné době před překážkou, která je představovaná množstvím hodnocených parametrů. Budoucím úkolem by tedy mělo být nalezení takových parametrů, které by umožnily hydromorfologické hodnocení zjednodušit bez ztráty kvality získaných informací. Výše uvedené parametry hodnocení je možné označit za nezbytné.

V rámci základní části metody QuaWaDis byly dále definovány hydromorfologické parametry popisující fluviální procesy v korytu – projevy eroze, výskyt a vývoj akumulčních tvarů, variabilita šířek a variabilita hloubek koryta toku. Detekce těchto parametrů je v případě vizuální interpretace leteckých snímků silně závislá na subjektivním pohledu mapovatele. V případě možnosti zpracování obrazových podkladů je možné jejich detekci automatizovat, nicméně jejich hodnocení je závislé na správné definici referenčních podmínek v rámci typologie toků.

Poslední skupinou parametrů jsou informace o antropogenním ovlivnění záplavové zóny – překážky proudění v záplavové zóně, retence vody v záplavové zóně, odvodnění území a ovlivnění odtoku. Tyto parametry jsou důležité z hlediska vysokých vodních stavů, vyběžení a průchodu povodňové vlny záplavovým územím.



Databáze informací o vodních tocích a jejich zázemí poskytuje možnost širokého spektra hodnotících parametrů, které je možné doplňovat v závislosti na účelu mapování. Zároveň je však nutné mít na paměti, že rozšiřující informace mohou snižovat váhu hodnocení klíčových parametrů.

Z hlediska jednoduchosti metody a její vypovídací hodnoty je tedy vhodné omezit základní část hodnocení na první dvě skupiny parametrů (celkem 8 parametrů). Parametry popisující fluvialní procesy je vhodné použít jen při jasné definici referenčních stavů v rámci typologie vodních toků, poslední skupinu parametrů je pak účelné použít v hodnocení úseků toků nad obcemi a v zemědělské krajině.

### ***13.2 Princip bodování parametrů***

Z hlediska potřeb RSV na klasifikaci úseků vodních toků do pěti stupňů se jeví jako logické, aby bodování jednotlivých parametrů bylo také uzpůsobeno pětistupňové škále. Pro hodnocení na podkladu distančních dat, kdy není hodnocena míra jevu, ale pouze jeho přítomnost (např. zákres upravených úseků – ano/ne), se ukázal jako nejvhodnější bipolární systém bodování. Zároveň při použití záporných a kladných hodnot není nutné hledat hranici, kde převažuje přírodní charakter úseku nad antropogenním, přirozeným dělítkem je nula. Použití nulové hodnoty v případě, kdy není možné v daném úseku parametr hodnotit, nekomplikuje výpočet výsledné celkové hodnoty.

Šípek (2006, 2009) uvádí, že průměrování parametrů v rámci jednotlivých zón a průměrování výsledných hodnot za jednotlivé zóny zvyšuje váhu parametrů v zónách s nižším počtem parametrů. Jako příklad uvádí metody LAWA-FS a EcoRivHab, kde parametry v rámci zóny doprovodných vegetačních pásů mají při výpočtu výsledného ekohydrologického stavu desetinásobnou váhu, než parametry v rámci zóny koryta toku.

Z toho důvodu je výsledná hodnota distančního hodnocení stanovena jako součet všech hodnot jednotlivých parametrů. Protože v metodě převažují parametry, které detekují antropogenní vliv nad parametry, které hodnotí přirozené fluvialní procesy, resp. dobrý hydromorfologický stav, je výsledný interval hodnot nesoúměrný – např. <-23;18> bodů.

Byla zvažována relativizace bodových hodnot, resp. jejich přepočet na souměrný, jednoduše dělitelný interval hodnot – např. <-100;100>, nicméně k tomu nebylo přikročeno z důvodu zachování původní definované váhy jednotlivých parametrů.

### ***13.3 Modelové území Rolavy***

Z přímého porovnání výsledků terénního a distančního hodnocení je zřetelný shodný trend hodnocení (obr. č. 29), přičemž distanční metoda obecně zlepšuje výsledný hydromorfologický stav (v 95 % úseků). Rozdíly v hodnocení mohou být způsobeny nedostatečnou vypovídací hodnotou distančních podkladů, chybnou kalibrací metody, nebo rozdílným principem hodnocení.

Z hlediska ověření kalibrace distanční metody je zřetelné, že obě metody poskytují v podstatě totožné výsledky. Místní rozdíly ve výsledcích je možné vysvětlit chybou v převodu dat při vytváření referenčního souboru, způsobený chybnou interpretací terénních dat. Z grafu na obr. č. 30 je patrné zdůraznění extrémů v hodnocení distanční metody, která vychází z bipolárního principu ano/ne (-1/1) v porovnání s hodnocením míry na stupnici 1-5 v rámci terénní metody. Z hlediska ověření vypovídací hodnoty distančních podkladů a klasifikace úseků v souladu s RSV byla zjištěna 96 % shoda.

Výsledky distančního hodnocení poskytují vyšší bodové hodnoty hydromorfologického stavu, distanční metoda tedy obecně v porovnání s terénním mapováním nadhodnocuje výsledky. To je dáno především tím, že do terénního mapování je zahrnuto i antropogenní ovlivnění, které na distančních podkladech viditelné není. V hodnocení toků, které svou velikostí odpovídají toku Rolavy, je možné toto označit za nedostatek distančních dat. Pro větší toky, pro které byla distanční metoda primárně definována, však skutečnosti, které svým rozsahem nejsou na obrazových datech viditelné, nemají z hlediska hodnocení na hydromorfologický stav toku zásadní vliv.

Při porovnání pomocí shlukové analýzy byla z hlediska kalibrace distanční metody identifikována 78 % shoda, přičemž v případě přírodě blízkých úseků bylo do stejné třídy zařazeno 70 % úseků a v případě antropogenně ovlivněných úseků byla shoda 100 %. Z hlediska hodnocení vypovídací schopnosti distančních podkladů (přesnosti distanční metody) byla identifikována 75 % shoda, přičemž v případě přírodě blízkých úseků byla shoda 80 % a v případě antropogenně modifikovaných 62,5 %. Do tohoto porovnání však mohlo z výše uvedených důvodů zařazeno jen 60 % ze všech hodnocených úseků. V případě shlukové analýzy v rámci jednoho souboru a všech tříd úseků byla v zařazení úseků do tříd zjištěna 84 % shoda.

Podle Ravena (2002) jsou některé parametry obtížně hodnotitelné během terénního mapování a jejich hodnocení je vhodnější založit na pozorování leteckých snímků, nebo tematických podkladů. Jde především o parametry hodnotící záplavové území a projevy vodního managementu na toku.

Během porovnání výsledků mapování však byla posuzována i schopnost obou metod hodnotit jednotlivé parametry s dostatečnou přesností a mírou objektivitu. V následující tab. č. 33 je uvedeno rozdělení parametrů z hlediska objektivitu hodnocení se zdůvodněním jejich zařazení. Z hlediska konečného zařazení kandidátních úseků do výsledné skupiny toků je nutné vzít v potaz objektivitu hodnocení jednotlivých parametrů.

Terénní průzkum umožňuje hodnotit i jevy, které jsou distanční metodě skryty, a to jak z důvodu překrytí vegetace, tak nedostatečného prostorového rozlišení obrazových dat a generalizaci tematických mapových podkladů. Mapovatel je však často omezen nepřístupností koryta vodního toku, nebo v případě větších vodních toků je mapování podél obou břehů časově náročné.

Tab. č. 33: Rozdělení parametrů z hlediska objektivitu hodnocení

	objektivnější metoda hodnocení	zdůvodnění
upravenost koryta toku	nebylo stanoveno	<b>distanční metoda</b> - možný nepřesný, nebo neaktuální zakres, <b>terénní metoda</b> - stará úprava nemusí být v terénu jednoznačně identifikovatelná
zhloubení koryta	terénní mapování	terénní zářezy nejsou vždy v mapách zakresleny
změna charakteru průběhu toku krajinou	distanční metoda	možnost porovnání historických map se současným stavem, v terénu nemusí být původní trasa toku identifikovatelná
podélný profil	v závislosti na velikosti toku	v datech chybí zakres některých stupňů, při velkém zastínění toku nejsou v datech zřetelné, pro velké vodní toky vhodnější distanční mapování
Eroze	terénní mapování	na distančních datech časté zastínění břehovou vegetací
Akumulace	v závislosti na velikosti toku	pro malé, zastíněné toky vhodnější terénní hodnocení, u velkých toků vhodnější distanční metoda, která poskytuje přehled o charakteru celé délky úseku
variabilita šířek	v závislosti na velikosti toku	pro malé, zastíněné toky vhodnější terénní hodnocení, u velkých toků vhodnější distanční metoda, která poskytuje přehled o charakteru celé délky úseku a možnost exaktního měření variability šířek
břehová vegetace	terénní mapování	na obrazových datech možné zastínění břehové vegetace stromy v DVP, vhodnější terénní průzkum
existence DVP	distanční metoda	možnost měření šířky vegetačních pásů, info o obou březích
charakter DVP	distanční metoda	informace o obou březích
Landuse	distanční metoda	informace o obou březích
překážky proudění	distanční metoda	informace o obou březích
možnosti retence	v závislosti na velikosti toku	<b>terénní hodnocení</b> vhodnější pro malé vodní toky, identifikuje drobné retenční prostory, <b>distanční metoda</b> poskytuje informace o obou březích
odvodnění území	distanční metoda	zdroj tematická GIS vrstva
ovlivnění odtoku	v závislosti na velikosti toku	místní odběry a výpusti nejsou z distančních dat zřetelné, tematická mapa pouze pro významné producenty

Distanční metoda umožňuje současné hodnocení obou břehů zároveň a přesné metrické hodnocení (např. existence DVP, využití záplavové zóny). Zásadním rozdílem je pohled na hodnocený úsek z ptačí perspektivy, díky níž má mapovatel možnost vytvořit si představu o charakteru celého úseku najednou.

Porovnání výsledků dvou různých metod je vždy zatíženo chybou, která je způsobena rozdílným principem hodnocení, definicí parametrů, časovým a prostorovým vymezením. Na příkladu modelového území Rolavy bylo dokumentováno, že distanční ekohydrologické mapování vodních toků poskytuje z hlediska potřeb RSV a ČSN EN 14614 (2005) srovnatelné výsledky s terénním mapováním. Nutná je však generalizace vstupních požadavků a aktuálnost zdrojových dat. V případě potřeb celoplošného a opakovaného ekohydromorfologického monitoringu tak nepochybně dojde k výrazné časové úspoře a bude zároveň zaručena vyšší míra objektivity v rámci provedeného distančního hodnocení.

Předností distančního mapování je výrazná časová úspora a vyšší míra objektivity v rámci hodnocení. Tok Rolavy je však pouze jedním z mnoha typů toků na území ČR, pro další, typově odlišné toky na našem území kalibrace metody distančního mapování zatím nebyla provedena.

### ***13.4 Modelové území Kalinova Ves***

Výsledkem objektové klasifikace byl soubor s 6459 vektorovými objekty, přesnost byla posuzována na základě referenčního souboru s 324 objekty.

V první fázi klasifikace byly v datech detekovány velké objekty (např. louky, lesy) a jednoznačně detekovatelné objekty (např. zastavěná území). V rámci těchto tříd byly klasifikovány relativně plošně větší objekty a byla dosažena vysoká uživatelská přesnost i přesnost zpracování, hodnoty se pohybovaly v rozmezí 92-100 %.

V druhé fázi byly v obrazu detekovány relativně malé plochy, které nejsou spektrálně typické (např. zahrady), tyto třídy obsahují vysoký počet relativně malých ploch. Protože byly do těchto kategorií zařazeny i tzv. zbytkové plochy (např. objekty v rámci polí, které nebyly jako pole identifikovány), byla dosažena nízká hodnota uživatelské přesnosti (hodnoty kolem 50%), přesnost zpracování dosahovala hodnot kolem 75 %.

Největší rozdíly v hodnotách přesnosti klasifikace a efektivity klasifikace byly zaznamenány v kategoriích krajinného krytu, které mají na obrazových datech velmi heterogenní charakter – lesy, pole a louky. Tyto kategorie jsou v obrazových datech reprezentovány několika velkými objekty. Z hlediska časové náročnosti a pracnosti by tedy bylo efektivnější v plošně malých modelových územích vektorizovat uvedené třídy krajinného krytu manuálně a zbytek obrazu s malými homogenními plochami klasifikovat automaticky.

Použitím principu fuzzy logiky v hodnocení přesnosti klasifikace byla nepřímou sledována schopnost rozpoznání objektu na základě jeho definice pomocí tvaru a velikosti. V porovnání přesnosti klasifikace bez započtení a se započtením alternativní kategorie byly zjištěny největší rozdíly v kategoriích „les“, „zahrada“ a „samostatné stromy“ (stromy v lese byly

často klasifikovány jako „samostatné stromy“ nebo „zahrada“. Chyba tedy byla způsobena spíše chybným rozpoznáním objektu, než chybnou klasifikací. Z toho také vyplývá, že manuální vektorizace kategorie „les“ by vnesla do další automatické klasifikace více přesnosti.

### ***13.5 Modelové povodí Vltavy***

Reklasifikace spektrálního obrazu podle Jenksova algoritmu přirozených zlomů poskytuje z hlediska vizuální interpretace nejhomogennější, ale zároveň i nejvíce generalizovaný obraz dna koryta. Pro sledování variability hloubek je zpracování obrazu dostatečné a lze jej používat na mělkých tocích. V nejhlubší třídě reklasifikace se nacházely hloubky nad cca 90 cm (měřeno v době terénního mapování, v době snímání byly na vodoměrech zaznamenány výšky vodní hladiny o 4-11 cm nižší).

Z vizuálního porovnání vyplývá, že pro sledování variability hloubek je možné využít i panchromatická data, přičemž v hlubších úsecích poskytují srovnatelné výsledky se spektrálními daty.

Konkrétní (nejen vizuální) ověření správnosti neřízené klasifikace bylo provedeno na podkladu neřízené klasifikace spektrálního obrazu do 10 tříd a ztotožnění těchto tříd s hloubkami zjištěných na měřených profilech. Předpoklad, že pro každou klasifikační třídu je možné vymezit interval hloubek, se podařilo potvrdit. Vzhledem k rozdílným vodním stavům v době terénního mapování a satelitního snímání však nebylo možné definovat tyto intervaly pomocí konkrétních hodnot hloubek.

Na 6,5 km dlouhém úseku Studené Vltavy se ve sledovaných časových obdobích nepodařilo identifikovat preferenční lokality vývoje koryta. Důvodem je pravděpodobně krátký sledovaný časový úsek.

### ***13.6 Modelové povodí Blanice***

.Na dolním toku Blanice byly pomocí terénního i distančního mapování shodně identifikovány nové úpravy toků i staré udržované úpravy toků. Distanční metodou nebyly v úseku nad obcí Strunkovice nad Blanicí a nad obcí Vodňany identifikovány staré neudržované úpravy toků. V porovnání distančního mapování s výsledky sledování upravenosti říční sítě podle Langhammera (2004) nebyly během distančního mapování identifikovány částečně upravené úseky toku pod obcí Protivín a pod nádrží Husinec a krátké úseky toku v obcích. Celkově upravené úseky toku a přírodní úseky byly identifikovány shodně.

Z porovnání vyplynulo, že zákresy upravených úseků v Základní vodohospodářské mapě jsou dostatečným zdrojem informací, v mapě nejsou zakresleny pouze staré neudržované úpravy, které však v rámci distančního hodnocení nejsou sledovány. Zákres terénních zářezů signalizující zahloubení koryta toku může v Topografické mapě 1:25 000 chybět z důvodu přehlednosti mapy (především v zastavěných úsecích, nebo např. v případě zákresu



solitérních stromů podél koryta). Při sledování charakteru koryta na leteckých snímcích je však možné hodnocení tohoto parametru doplnit.

Parametry sledující fluviální procesy byly hodnoceny s využitím zpracování satelitních snímků. Sledovány byly pouze parametry hodnocení variability hloubek a přítomnosti a vývoje akumulčních tvarů. Parametry hodnocení variability šířek a charakter eroze nebyly na podkladu zpracování satelitních snímků sledovány z důvodu zastínění toku vegetací doprovodných pásů.

Pro hodnocení hloubek byly stanoveny hranice pomocí relativního zastoupení ploch jednotlivých tříd klasifikace obrazu v typově reprezentativních úsecích. V rámci těchto hranic bylo ve sledovaném úseku toku identifikováno 13 mapovaných úseků jako úseky s nízkou variabilitou hloubek (o celkové délce 4350 m), u 19 úseků nebylo možné hloubky z důvodu velkého zastínění, nebo velkého zahloubení hodnotit (o celkové délce 6440 m) a 34 úseků bylo hodnoceno jako úseky s odpovídající variabilitou hloubek (celková délka 27,9 km). Jako úseky s nízkou variabilitou byly označeny úseky v obcích Husinec a Těšovice, úsek v blízkosti obce Záblatí a úseky mezi obcí Kratušín a v. n. Husinec. Hodnocení jednotlivých úseků je zapsáno v příloze 2.

Přítomnost a vývoj akumulčních tvarů byly sledovány ve třech typově charakteristických úsecích – úsek se zákresem úpravy (pravděpodobně staršího data) nad měrným profilem Blanický mlýn, úsek bez zákresu úpravy nad měrným profilem Blanický mlýn a úsek bez zákresu úprav mezi obcí Záblatí a v. n. Husinec. Vzhledem k tomu, že nebyly známy výšky vodní hladiny, nemohly být porovnávány změny velikosti akumulčních tvarů, ale pouze vývoj jejich umístění a polohy v rámci koryta.

Na upraveném i neupraveném úseku nad Blanickým mlýnem byla identifikována srovnatelná četnost akumulčních tvarů i charakter jejich vývoje. Oba úseky byly hodnoceny jako úseky s přirozeným vývojem akumulčních tvarů.

Ve sledovaném úseku mezi obcí Záblatí a v. n. Husinec byla při srovnatelném spádu identifikována téměř poloviční četnost akumulčních tvarů na délku úseku, než v případě dvou úseků nad Blanickým mlýnem. Zároveň byla téměř polovina identifikovaných tvarů vázána na jeden zákrut (lokalita Záblatí).

Podle Křížka (2008) dochází k vývoji akumulčních tvarů v místech zákrutů (lokality se zpomalením proudění). Nižší četnost akumulčních tvarů je tedy možné vysvětlit charakterem průběhu toku krajinou, kdy převládají přímé, nebo jen mírně zvlněné úseky. Podobný charakter průběhu toku krajinou má však i upravený úsek Blanice nad Blanickým mlýnem. Úsek toku Blanice mezi obcí Záblatí a v. n. Husinec byl hodnocen jako úsek se sníženou četností akumulčních tvarů.

## 14 Diskuze

Dle Lehotského je při koncipování konkrétních metod morfologie vodních toků v první řadě nutné si uvědomit, že žádné hodnocení nemůže postihnout jejich komplexnost v celé šířce. Přitom je potřebné, že vztahy, procesy a odezvy musí být navíc uvažované v kontextu s antropogenními vlivy (Lehotský, 2005).

V rámci distanční metody bylo definováno patnáct parametrů hodnocení. Parametry hodnocené na podkladu tematických map a parametry hodnotící charakter vegetace v zázemí toku je možné označit pro hodnocení za nezbytné, zároveň jsou v různé podobě zahrnuty v metodikách hodnocení českých (Langhammer, 2008, Matoušková, 2003), slovenských (Lehotský 2005b, 2006, 2007) německých (Kamp a kol, 2007) a rakouských (Muhar, 2000) autorů.

Z provedené srovnávací analýzy výsledků terénní metody EcoRivHab a distanční metody QuaWaDis na příkladu hlavního toku Rolavy vyplývá, že v uvedeném území poskytuje distanční metoda srovnatelné výsledky jako terénní metoda a to jak z hlediska identifikace úseků v dobrém nebo velmi dobrém hydromorfologickém stavu a rovněž tak silně antropogenně ovlivněných úseků, což je v souladu s RSV.

Možnost aplikace distanční metody v jiných zájmových územích je nutné ověřit vzhledem k typům vodních toků (dle Langhammera a kol., 2009). V rámci jednotlivých typů je také nutná definice referenčních stavů (v současné době řešeno v rámci projektu SFŽP – řešitel Langhammer, Matoušková a kol, 2013).

Možnosti využití objektové klasifikace leteckých snímků jsou podmíněny charakterem dat. V modelovém území Kalinova Ves bylo v porovnání s jinými autory dosaženo vysoké přesnosti klasifikace (viz tab. č. 34). Při zohlednění časové náročnosti zpracování jednotlivých kategorií je však (vzhledem k velikosti klasifikovaného území) efektivnější plošně rozsáhlé a vnitřně heterogenní objekty klasifikovat pomocí manuální vektorizace. Zvýší se tak efektivita následné klasifikace plošně malých a vnitřně homogenních objektů, u kterých byla také identifikována vyšší úspěšnost rozpoznávání objektů.

Výsledky přesnosti klasifikace jsou ovlivněny počtem referenčních objektů. Podle Greniera (2008) je počet referenčních objektů vždy omezen a je kompromisem mezi potřebou co nejpresnějšího zhodnocení a časovou náročností. Grenier (2008) zároveň diskutoval minimální nutný počet referenčních objektů. Počet objektů se pohybuje v rámci desítek a stovek referenčních objektů. Např. Huang (2008) použil 257 referenčních objektů, Xiaoxia (2005) stanovil přesnost na podkladu 65 referenčních bodů.

## SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ, DISKUZE A ZÁVĚR

Tab. č. 34: Porovnání přesnosti klasifikace s jinými autory, \*autor použil Feature Analyst, PZ – přesnost zpracování, UP – uživatelská přesnost

	<i>Modelové území Kalinova Ves</i>		<i>Hoňková (2006)</i>		<i>Huang (2008)</i>		<i>Xiaoxia (2005)</i>		<i>Rahman (2007)</i>		<i>Walker (2005)</i>		<i>Arroyo (2010)</i>	<i>Weihs (2009)*</i>	
	PZ	UP	PZ	UP	PZ	UP	PZ	UP	PZ	UP	PZ	UP	PZ	PZ	UP
<i>Silnice</i>	95	93	76	56	80	58	75	60						87	94
<i>Les</i>	99	96	89	97							88	99	98	67-91	56-87
<i>Louka</i>	96	100	75	53									49	91	84
<i>Pole</i>	97	99	87	79									87		
<i>Zelené pásy</i>	95	92	84	73											
<i>Vodní plochy</i>	99	100			90	100	100	91	100	100			83	90	100
<i>Zastavěné plochy</i>	96	98	54	79	76-100	82-100	80-100	67-80	97	80			99	86	86
<i>Obrazová data</i>	Letecké snímky RGB		Letecké snímky černobílé		QuickBird		QuickBird		IRS P6 LISS III		Letecké snímky RGB		Ultra Cam-D	Různá data	
<i>Prostorové rozlišení</i>	1 m				MS, 2.44 m		0.7 m, pansharp		23.5 m		0.61 m		0.25 m		
<i>Referenční soubor</i>	min. 5 % klasifikační třídy				257 ref. objektů		65ref. Bodů (pixelů)				500 bodů		50 bodů v klasif. třídě		

V modelovém území Vltavy byla prokázána možnost využití zpracování obrazu satelitních snímků pro sledování variability hloubek. Na základě dat s prostorovým rozlišením 60 cm z družice WorldView II a lokalizací bodové měření hloubek s přesností GPS 2-5 m bylo možné vymezit intervaly hloubek do cca 150 cm.

Pro zpracování bylo ověřeno použití nástrojů neřízené klasifikace a reklasifikace obrazu na podkladu multispektrálních i panchromatických snímků. Využitelnost panchromatických snímků potvrdil v modelovém území Snake River na úseku Rusty Bend i Legleiter (2012).

Batymetrické mapování je v současné době velice aktuální téma. Podle Carbonneau (2006) je možné rozlišit dva přístupy – empirické (obrazová data jsou konfrontována s hloubkami naměřenými v terénu) a fyzikální (obrazová data jsou konfrontována s absorpcí ve spektrálním kanálu s hloubkou zjištěnou v modelovém území). Pro jednotlivé pixely je pak vypočítána hloubka podle vztahu, který byl ze závislosti odvozen, nebo jsou použity již definované závislosti (např. dle Lyzenga 1978).

Vzhledem k současným metodám a přesnosti obrazových i terénních dat je postup použitý v modelovém území Vltavy možné označit jako méně sofistikovaný. Pro potřeby pro které byl primárně použit, tedy pro testování možnosti jednoduchého sledování variability hloubek v mělkých tocích, je však jeho přesnost a možnosti dostatečné (viz srovnání v tab. č. 35).

V rámci distančního hodnocení vodních toků je sledování variability hloubek pouze jedním z více sledovaných parametrů a není smysluplné používat časově a finančně náročné postupy.

Použitá obrazová a referenční data s výsledky v různých modelových územích jsou zapsány v tab. č. 35. Carbonneau (2006) a Lejot (2007) použili obrazová data s prostorovým rozlišením v řádu několika cm nasnímaných z helikoptéry, resp. modelu letadla s nízkým přeletem nad územím. V případě modelového území řeky sv. Markéty bylo během dvou dnů takto pořízeno více než 4184 snímků. Zpracování takového počtu snímků je náročné nejen na přístrojovou kapacitu a na čas, ale vnáší do dalšího zpracování i různou míru nepřesnosti při georeferencování. Obrazová data s větším prostorovým rozlišením sice neposkytují detailní informace, oproti tomu jejich zpracování má homogennější charakter.

Tab. č. 35: Použitá data a výsledky batymetrického mapování v různých modelových územích

autor/modelové území	charakter obrazových dat	charakter terénních dat	Výsledky
Carbonneau (2006) 80 km úsek toku sv. Markéty (Sainte Marquerite)	rozlišení 3 cm, snímáno v optickém spektru, referencováno s přesností 28 cm	1000 měření pro kalibraci, 500 věření pro verifikaci, RTK GPS s přesností 3-5 cm	dobré výsledky do hloubek 150 cm
Lejot (2007) úseky řek Ain a Drône	rozlišení 3-14 cm, snímáno v optickém spektru, chyba georeferencování odpovídá velikosti okna 3x3 pixely	176 měření ve 43 příčných profilech	dobré výsledky do cca 3 m, vysoká prostupnost vody pro světlo (vápencové podloží)
Fonstad, Marcus (2005) řeka Lamar	rozlišení 1 m, snímáno v optickém spektru	105 měření s přesností GPS 1 m	dobré výsledky do hloubek 80 cm
Gilvear (2007) Forth estery	hyperspektrální snímky v 751 pásmech přeskupeny do pásem ATM	přístrojové spektrální měření pro různé hloubky	dobré výsledky do hloubky 75 cm, nad 90 cm jen 50% přesnost
Legleiter (2009) Soda Butte Creek	hyperspektrální snímky ve 34 pásmech, prostorové rozlišení 2,5 m	přístrojové spektrální měření v hloubkách 4-80 cm	ve sledovaných hloubkách prokázána dobrá závislost
Legleiter (2012) Snake river	snímky z družice WorldView 2 v 8 spektrálních pásmech, prostorové rozlišení 2 m	měření hloubek pomocí automatického záznamu s přesností 2-3 cm (RTK GPS, ADCP), celkem 73686 bodových měření	dobré výsledky do hloubek kolem 2 m, vysoká prostupnost vody pro světlo

Batymetrické mapování je závislé na prostupnosti světla vodním sloupcem a tedy i na aktuálním obsahu rozpuštěných a rozptýlených látek ve vodě. Další faktor, který výslednou radiometrickou hodnotu jednotlivých pixelů ovlivňuje, je i spektrální odrazivost substrátu dna, kde různé substráty mají rozdílnou spektrální odrazivost, která ovlivňuje výslednou odrazivost zaznamenanou na scanneru). Uvedenými faktory se zabýval Gilvear (2007), který měřil spektrální chování různých substrátů dna v různých hloubkách. V modelovém území Vltavy faktor spektrální odrazivosti substrátu nebyl řešen (charakter substrátu je zde poměrně homogenní). Úseky nad tmavým substrátem se tedy mohou jevit hlubší, než úseky nad světlým substrátem.

V modelovém území Blanice byla znovu ověřena využitelnost distančních podkladů pro hydromorfologické hodnocení vodních toků a využitelnost zpracování satelitních snímků pro hodnocení variability hloubek.

Nástroje zpracování obrazu umožňují a zjednodušují hodnocení parametru variability hloubek a vývoje akumulčních tvarů, které jsou v případě středně velkých a velkých vodních toků v terénu obtížně mapované. Postupy použité v modelovém území Vltavy a Blanice umožňují sledovat variabilitu hloubek v rámci intervalů hloubek. Kvantitativní hodnocení variability hloubek zároveň zaručuje objektivnost hodnocení v rámci sledovaného toku a je využitelné při definici referenčních stavů.

Meier (2013) provedl v rámci ekohydrologického mapování řeky Rur metodou LAWA-FS i anketu mezi 36 mapovateli, v které měli ohodnotit, které parametry se jim v terénu hodnotili nejobtížněji. Jako nejhůře hodnotitelné byly označeny parametry sledování variability hloubek a tvarů v korytě toku.

Hydromorfologické parametry je nutné hodnotit vzhledem k referenčnímu stavu definovanému v rámci jednotlivých typů a subtypů vodních toků (typologie dle Langhammera a kol. 2009). Inspirací by mohl být německý přístup ve formě tzv. „Leitbildů“, které popisují referenční podmínky slovní i obrazovou formou (Kern, 1992 in Kondolf et al. 2005).

V případě hodnocení parametru přítomnosti a vývoje akumulčních tvarů nebyl referenční stav kvantifikován, byl pouze hodnocen na základě srovnání s potenciálním přirozeným stavem identifikovaným v rámci toku Blanice (viz Matoušková 2003, 2007, Langhammer 2008).

## 15 Závěr

V rámci představené práce byly formulovány následující závěry:

- distanční hodnocení hydromorfologického stavu vodních toků poskytuje výsledky použitelné v rámci klasifikace úseků vodních toků v souladu s požadavky RSV.
- distanční hodnocení představuje v porovnání s terénním mapováním výraznou časovou úsporu, v případě využití pouze volně dostupných podkladů i úsporu finanční.



- distanční hodnocení nedosahuje úrovně terénního mapování z hlediska detailnosti a aktuálnosti získaných informací. Distanční hodnocení si tedy neklade za cíl terénní mapování nahradit, spíše má sloužit jako nástroj k určení úseků, které je nutné terénnímu hodnocení podrobit.
- distanční hodnocení je použitelné pro toky, resp. řádovostní úroveň toků, které jsou zakresleny v tematických mapových podkladech a které jsou zároveň viditelné na leteckých nebo satelitních snímcích. Využitelnost distanční metody je tedy limitována detailností tematických podkladů a prostorovým rozlišením obrazových dat.
- významným faktorem distančního hodnocení je aktuálnost distančních podkladů, kdy jednotlivé tematické podklady jsou různého stáří a nejsou (např. ZVM) pravidelně aktualizovány. Jako srovnávací stav vývoje, zásahů nebo změn v korytu a zázemí toku může sloužit letecká mapa ČR, která je pravidelně jednou za tři roky aktualizována.
- při zpracování obrazových podkladů za účelem vytvoření vrstvy využití v zázemí toku, je vždy nutné předem posoudit charakter dat, jejich plošný rozsah a charakter informace, které je z nich možné získat. Ačkoli je možné pomocí nástrojů automatického zpracování obrazu získat z leteckých a satelitních snímků přesné informace, často je zpracování obrazu neadekvátně časově náročné a neefektivní a je vhodnější použít manuální vektorizaci.
- vzhledem k finanční náročnosti satelitních snímků není zcela účelné pořizovat satelitní data pro celý sledovaný úsek toku, ale pouze pro předem vytypované úseky. Jde o úseky vhodné ke kvantitativnímu vyjádření referenčních podmínek variability hloubek a o úseky, kde bylo detekováno antropogenní ovlivnění koryta toku a zázemí toku
- využití distančních datových podkladů má nepochybně velký význam pro celoplošný hydromorfologický monitoring významných vodních toků. Správcům vodních toků poskytne nezbytně informace o základních hydromorfologických charakteristikách koryt a příbřežní zóny vodních toků. Efektivně směřovat opatření pro dosažení dobrého ekologického stavu v souladu s požadavky RSV

Na závěr bych si ráda vypůjčila dva citáty, které sice s hydromorfologickým hodnocením vodních toků nemají žádnou souvislost, nicméně při definování distanční metody a způsobu hodnocení jednotlivých parametrů často sehrály svou roli.

Měřím, co měřitelné je a snažím se učinit měřitelným to, co ještě měřitelné není (*Galileo*)

Čím lépe matematické zákony popisují realitu, tím jsou méně přesné, a čím jsou přesnější, tím hůře popisují realitu. (*Albert Einstein*)

Vodní toky jsou velmi komplexní živé organismy ovlivnitelné řadou biotických i abiotických faktorů (everard and powell, 2002 in kamp, u. a kol, 2007). Proto není možné a ani žádoucí vše přesně kvantifikovat, zároveň je však nutné do hodnocení vnést nezbytnou míru objektivitu definovanou právě pomocí kvantitativních hranic. I v hodnocení vodních toků platí, že méně je někdy více a je nutné nalézt tu správnou hranici, kdy hodnocený parametr k celkovému hodnocení přispívá nikoliv komplikuje.

Agences de l'Eau & Ministère de l'Environnement (1998): SEQ Physique: a System for the Evaluation of the Physical Quality of Watercourses, 15p.

ArcData: Družice a skenery [online]. Praha (ČR): ArcData. [cit. 2009-12-09].  
<<http://www.arcdata.cz?produkty-a-sluzby/geograficka-data/druzicova-data/druzice-a-scenery/>

AQEM Consortium (2002): Manual for the application of the AQEM system. A comprehensive method to assess European stress using benthic macroinvertebrates, developed for the purpose of the WFD. Version 1.0, February 2002

Balestrini, R., Cazzola, M., Buffagni, A. (2004): Characterising hydromorphological features of selected Italian rivers: a comparative application of environmental indices. *Hydrobiologia* 516, p. 365-379

Barbour, M.T., Stribling, J.B., Verdoschot, P.F.M. (2006): The Multihabitat Approach of USEPA's Rapid Bioassessment Protocols: Benthic Macroinvertebrates, *Limnetica*, 25 (3): p. 839-850

Benz, U.C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., Heynen, M. (2004): Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 58 (3-4), 239-258

Bicanová, M. (2009): Zpráva z řešení aktivity 803A01: Analýza vody a vodního režimu krajiny zájmového území. Výstupy řešení 2008, Projekt VaV MŠMT Kačina 2006 – 2011, [online]: <http://www.projektkacina.estranky.cz/clanky/vystupy-2008>

Birk, S. (2003): Review of European assessment methods for rivers and streams using Benthic Invertebrates, Aquatic Flora, Fish and Hydromorphology, diploma thesis, University of Duisburg-Essen, Essen, 105 p. [online]: [http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-20029/BIRK2003\\_Review-European-River-Assessment.pdf](http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-20029/BIRK2003_Review-European-River-Assessment.pdf)

Brabec, K. (2004): Význam hydromorfologie toků pro stanovení jejich ekologického stavu. In Měkotová, J. & Štěrba, O., 2004 (eds). *Říční krajina – sborník příspěvků z konference*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, s. 8-11

Bryant, R.G., Gilvear, D.J. (1999): Quantifying geomorphic and riparian land cover changes either side of a large flood event using airborne remote sensing, River Tay, Scotland, *Geomorphology*, Vol. 23, p. 17

Buffagni, A., Erba, S. (2002): Guidance for the assessment of Hydromorphological features of rivers within the STAR Project, CNR-IRSA, Water Research Institute, Italy

Carbonneau, P.E., Lane, S.N., Bergeron, N. (2006): Feature based image processing methods applied to bathymetric measurements from airborne remote sensing in fluvial environments, *Earth Surf. Process. Landforms* 31, pp. 1413-1423

- CEN 14614, 2004. Water Quality – A Guidance Standard for Assessing the Hydromorphological Features of Rivers, November 2004
- ČSN EN 14614 (2005): Jakost vod – Návod pro hodnocení hydromorfologických charakteristik. Vydavatelství norem. Praha
- Demek J. [ED.] (1987): Zeměpisný lexikon ČSR: Hory a nížiny. Academia, Praha.
- DHI (2004): Vymezení silně ovlivněných vodních útvarů, prováděcí manuál
- DigitalGlobe\_a: QuickBird, Data sheet [online], DigitalGlobe, 2008-. [cit. 2009-12-08]. <[http://www.digitalglobe.com/file.php/515/QuickBird\\_Datasheet\\_web.pdf](http://www.digitalglobe.com/file.php/515/QuickBird_Datasheet_web.pdf)>
- DigitalGlobe\_b: WorldView-1, Data sheet [online], DigitalGlobe, 2008-. [cit. 2009-12-08]. <[http://www.digitalglobe.com/file.php/516/WorldView-1\\_Datasheet\\_web.pdf](http://www.digitalglobe.com/file.php/516/WorldView-1_Datasheet_web.pdf)>
- DigitalGlobe\_c: WorldView-1, Data sheet [online], DigitalGlobe, 2009-. [cit. 2009-12-08]. <[http://www.digitalglobe.com/file.php/686/WorldView-2\\_Datasheet\\_web.pdf](http://www.digitalglobe.com/file.php/686/WorldView-2_Datasheet_web.pdf)>
- DOBROVOLNÝ, P. (1998): Dálkový průzkum Země. Digitální zpracování obrazu, Brno: Masarykova univerzita, 208s.
- Dvořák, M. (2008): Hodnocení kvality habitatu antropogenně ovlivněných vodních toků, aplikace na modelovém povodí Bíliny, diplomová práce, PřF UK, Praha, s.
- Dvořák, M., Matoušková, M.: (2011): Assessment of physical habitat modification in the Bilina River Basin. *Limnetica*, 30 (2), 293-305
- European Commission (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a Framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Communities L327:1-77
- Feurer, D., Bailly, J-S., Puech, C., Le Coarer, Y., Viau, A. (2008): Very-high resolution mapping of river immersed topography by remote sensing, *Progress in Physical Geography* 32(4), p.403-419
- Fleischhacker, T., Kern, K., Sommer, M. (2002): Ecomorphological survey of large rivers. Manual. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz, Germany, p. 41, ([online]: <http://elise.bafg.de/servlet/is/3829/Manual.pdf>)
- Fonstad, M.A., Marcus, W.A. (2005): Remote sensing of stream depths with hydraulically assisted bathymetry (HAB) models, *Geomorphology* 72, pp. 320-339
- Gilvear, D.J., Davids, C., Tyler, A.N. (2004): The use of remotely sensed data on channel hydromorphology, river Tummel, Scotland, *River Res. Applic.* 20: p. 1-17
- Gilvear D., Hunter, P., Higgins, T. (2007): An experimental approach to the measurement of the effects of water depth and substrate on optical and near infra-red reflectance: a field-based assessment of the feasibility of mapping submerged instream habitat, *International Journal of Remote Sensing*, p. 16
- Gilvear, D.J., Sutherland, P., Higgins, T. (2008): An assessment of the use of remote sensing to map habitat features to sustaining lamprey populations, *Aquatic Conserv: Mar.Freshw. Ecosyst.* 18, p. 807-818

- Grenier, M, Labracque, S., Benoit, M., Allard, M. (2008): Accuracy Assessment Method for Wetland Object-Based Classification, In: Proceedings GEOBIA, 2008 – Pixels, Objects, Intelligence: Geographic Object Based Image Analysis for the 21<sup>st</sup> Century, pp. 285-289
- Grešková, A (2004).: Hydromorfologický prieskum a hodnotenie vodných tokov. In Herber, V.(ed.): Fyzickogeografický sborník II: kulturní krajina. 1. vyd., Masarykova univerzita, Brno, s. 191 – 195
- Grešková, A. (1996): Ekohydrologia – environmentálne orientovaný hydrologický výskum, Geografia, 4, č. 4/1996, s. 128-131
- Háková, M. (2007): Družicová data s velmi vysokým rozlišením – současné a plánované družice, GEOS 2007, 3s.
- Hannah, D.M., Wood, P.J., Sadler, J.P. (2004): Ecohydrology and hydroecology: A „new paradigm“?, Hydrol.Process. 18, p. 3439-3445
- Hanzlová, M., Horák, J., Halounová, L., Židek, D., Heller, J. (2007): Překryvné analýzy rastrových dat typu využití a pokryvu území, sborník, GIS Ostrava 2007, Ostrava, 11p
- Hartvich, F., Jedlička, J. (2008): Vývoj nástrojů automatického vymezení údolní nivy na základě DMR a jeho aplikace v povodí Opavy. In Langhammer, J. (ed.), *Údolní niva jako prostor ovlivňující průběh a následky povodní*. Praha, Přf UK, 170-179.
- Huang, L., Ni, L., (2008): Object-oriented Classification of High Resolution Satellite Image for Better Accuracy, Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, Shanghai, China, pp. 211-218
- Feurer, D., Bailly, J.S., Puech, C., Le Coarer, Y., Viau, A. A. (2008): Very-high-resolution mapping of river immersed topography by remote sensing. Progress in Physical Geography, 32(4), pp. 403-419
- Fonstad, M.A., Marcus, W.A., (2005): Remote sensing of stream depths with hydraulically assisted bathymetry (HAB) models, Geomorphology 72, pp. 320-339
- Chandler, J.H., Rice, S., Church, M. (2004): Colour Aerial Photography for Riverbed Classification, International Archive of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol 35, part 7, p. 1079-1084
- Chuman, T. (2008): Vymezení nivy pomocí pedologických a biogeografických podkladů na příkladu povodí Opavy. In Langhammer, J. (ed.), *Údolní niva jako prostor ovlivňující průběh a následky povodní*. Praha, Přf UK, 180-186.
- Janauer, G.A. (2000): Ecohydrology: fusing concepts and scales, Ecological Engineering, Vol. 16, P. 9-16
- Jordan, D.C., Fonstad, M.A., (2005): Two dimensional mapping of river bathymetry and power using aerial photography and GIS on the Brazos River, Texas, Geocarto International, vol. 20, No. 3, pp. 8
- Kamp, U., Binder, W., Hölzl, K., (2007): River Habitat Monitoring and Assessment in Germany, Environ Monit Assess (2007) 127: p. 209-226

- Kondolf, G. M., Montgomery, D. R., Piégay, H. and Schmitt, L. (2005): Geomorphic Classification of Rivers and Streams, in *Tools in Fluvial Geomorphology* (eds G. M. Kondolf and H. Piégay), John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK.  
doi: 10.1002/0470868333.ch7
- Kopp, J. (2004): Ekohydrologické hodnocení povodí v příměstské krajině, případová studie povodí Lučního potoka, disertační práce, Přf UK, Praha, 272 s.
- Králová, M., Matoušková, M. (2012): Distanční mapování ekohydrologického stavu vodních toků, *Vodní Hospodářství* 3/2012, pp 6-10.
- Králová, M. (2013): Accuracy assessment and classification efficiency of object-based image analysis of aerial imagery, *AUC Geographica* 1/2013, pp. 15-23
- Křížek, M. (2008): Configuration of channel bars in Černá Opava River as a consequence of flooding in September 2007, *Acta Universitatis Carolinae Geographica*, No. 1–2, PAG. 145 –162
- Landinfo: GeoEye-1 High Resolution Satellite Imagery [online]. Highlands Ranch (CO, USA): Land Info Worldwide Mapping, 2009-. [cit. 2009-12-08].  
<http://landinfo.com/geo.htm>
- Lane, S.N. (2000): The measurement of river channel morphology using digital photogrammetry, *Photogrammetric Record* 16(96), pp 937-961
- Langhammer, J. (2004): Antropogenní upravenost říční sítě v povodí Otavy, In *Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní. Sborník příspěvků závěrečného semináře grantu GAČR 205/03/Z046*, Langhammer, J., Engel, Z. /ed./, 1. vydání. Praha: Přf UK, 2004, s. 104-124.
- Langhammer, J. (2008): HEM, hodnocení ukazatelů, metodika pro monitoring hydromorfologických ukazatelů ekologické kvality vodních toků, KFGG, Přf UK, Praha, 23s
- Langhammer, J. (2009): Analysis of the relationship between stream regulations and the geomorphologic effects of floods. *Natural Hazards*, DOI: 10.1007/s11069-009-9456-2
- Langhammer, J., Hartvich, F., Mattas, D., Zbořil, A. (2009): Vymezení typů vodních toků, *Univerzita Karlova v Praze, přírodovědecká fakulta*, Praha, 29p.
- LAWA. (1998): *Strukturgütekartierung in der Bundesrepublik Deutschland*, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, Munich.
- Leckie, D.G., Cloney, E., Jay, C., Paradine, D. (2005): Automated Mapping of Stream Features with High-Resolution Multispectral Imagery: An Example of the Capabilities, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 71, No. 2, p. 145-155
- Ledvinka, O. (2008): Trendy srážkoodtokového režimu v povodí Rolavy, diplomová práce, Přf UK, Praha, 114 s.
- Legleiter, C.J., Roberts, D.A., Marcus, W.A., Fonstad, M.A. (2004): Passive optical remote sensing of river channel morphology and in-stream habitat: Physical basis and feasibility, *Remote sensing of Environment* 93, p. 493-510



- Legleiter, C.J., Roberts, D.A. (2005): Effects of channel morphology and sensor spatial resolution on image-derived depth estimates, *Remote Sensing of Environment* 95, pp-231-247
- Legleiter, C.J., Goodchild, M.F. (2005): Alternative representation of in-stream habitat: classification using remote sensing, hydraulic modeling a fuzzy logic, *International Journal of Geographical Information Science*, Vol. 19, No. 1, p. 29-50
- Legleiter C.J., Roberts, D.A., Lawrence, R.L. (2009): Spectrally based remote sensing of river bathymetry, *Earth Surf. Process. Landforms* 34, pp. 1039-1059
- Legleiter, C.J., Overstreet, B.T. (2012): Mapping gravel bed river bathymetry from space, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 117, 24p.
- Lehotský, M. (2005a): Vodné toky, ich hodnotenie a fluvialná geomorfológia, In Herber, V.(ed.): *Fyzickogeografický sborník III: fyzická geografie-krajinná ekologie-trvalá udržiteľnosť*. 1. vyd., Masarykova univerzita, Brno, s. 154 – 160
- Lehotský, M. a Grešková, A. (2005b): Korytovo-nívné geosystémy a riečna krajina: prieskum a hodnotenie. In Janský, B.(ed.): *Geografie: sborník České geografické společnosti*. roč. 109, č. 4, Praha, 2005. s. 277 – 288
- Lehotský, M. (2006): Assessment of the principles and techniques used to monitor hydromorphological characteristics in Europe including The Slovak Republic. SHMÚ [on-line].: [http://www.shmu.sk/File/implementacia\\_rsv/twinning/a3\\_European\\_methods.pdf](http://www.shmu.sk/File/implementacia_rsv/twinning/a3_European_methods.pdf)
- Lehotský, M., Grešková, A. (2007): Fluvial geomorphological approach to river assessment – methodology and procedure, *Geografický časopis* 59, pp.107 - 129
- Lejot, J, Delacourt, C., Piegay, H., Fournier, T., Trémélo, M-L., Allemand, P. (2007): Very high spatial resolution imagery for channel bathymetry and topography from an unmanned mapping controlled platform, *Earth Surf. Process. Landforms* 32, pp. 1705-1725
- Lelut, J. (2007): Vodohospodářské revitalizace na podkladě ekomorfologického monitoringu vodních toků, aplikace v modelovém povodí Rolavy, diplomová práce, PřF UK, Praha, 134s.
- Lipský, Z., Bicanová, M. (2009): Mapování a ekologické hodnocení vodních toků jako významných krajinných prvků. Problémy ochrany a využívání krajiny - teorie, metody a aplikace. *Zborník vedeckých prác. Združenie Biosféra*.
- Lyzenga D., 1978. Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features. *Applied Optics*, 17(3), pp. 379-383.
- Marcus, W.A. (2002): Mapping of stream microhabitats with high spatial resolution hyperspectral imagery. *Journal of Geographical Systems* 4(1), pp. 113-126
- Marcus, W.A, Legleiter, C.J., Aspinall, R.J., Boardman, J.W., Crabtree, R.L. (2003): High spatial resolution hyperspectral mapping of in-stream habitats, depths, and woody debris in mountain streams, *Geomorphology* 55, p. 363-380

- Marcus, W.A., Fonstad, M.A. (2008): Optical remote mapping of rivers at sub-meter resolution and watershed extent, *Earth Surf. Process Landforms* 33, p-4-24
- Marcus, W.A., Fonstad, M.A. (2010): Remote sensing of rivers: the emergence of a subdiscipline in the river science, *Earth Surf. Process. Landforms* 35, pp. 1867-1872
- Matoušková, M. (2003): Ekohydrologický monitoring jako podklad pro revitalizaci vodních toků, modelová studie povodí Rakovnického potoka, disertační práce, Přf UK, Praha, 218s
- Matoušková, M. (2004): Ecohydrological monitoring of the river habitat quality. – *Geografie – Sborník ČGS*, 109, 2, pp. 105-116
- Matoušková, M. (2007): Ekohydrologický monitoring vodních toků v kontextu Ramcové směrnice ochrany vod EU. Závěrečná výzkumná zpráva projektu GAČR č. 205/02/P102, PřFUK v Praze a GAČR, Praha.
- Matoušková, M. (2008a): Assessment of the river habitat quality within European Water Framework Directive, Application to different catchments in Czechia. – *Geografie-Sborník ČGS*, 113, 3, pp. 223-236
- Matoušková, M. (2008b): Metoda hodnocení kvality habitatu vodních toků EcoRivHab. In Matoušková, M. *Ekohydrologický monitoring vodních toků v kontextu rámcové směrnice o vodní politice*. Přf UK, Praha
- Matoušková, M., Šmerusová, K., Tomšová, Z. (2013): Stanovení typově specifických referenčních podmínek pro hydromorfologii, rešeršní část projektu SFŽP, Přf UK, nepublikované materiály
- Mayer, P. M. et al. (2005): Riparian buffer width, vegetative cover and nitrogen removal effectiveness: A review of current science and regulations, Environmental Protection Agency, United States, pp. 40
- McGinnity, P., Mills, P., Mueller, M., Roche, W. (2005): Water Framework Directive: A Desk Study to determine a Methodology for the Monitoring of the „Morphological Condition“ of Irish Rivers for the Water Framework Directive (2002-W-DS-9-M1). Synthesis Report Environmental RTDI Programme 2000-2006 for the Environmental Protection Agency, Wexford, Ireland. Central Fisheries Board and Compass Informatics, p. 226
- Meier, G., Zumbroich, T., Roehring, J. (2013): Hydromorphological assessment as a tool for river basin management: The german field survey method, *Journal of Natural Resources and Development* 03, pp 14-26
- Minář, M., (2008): Mapová aplikace pro zobrazování epidemiologických dat na webu, bakalářská práce, fakulta informatiky, masarykova univerzita, Brno, pp.40
- Mostecká, J. (2005): Fyzickogeografická charakteristika a zhodnocení míry antropogenního ovlivnění povodí Rolavy. Ročníková práce, Přf UK, Praha, 60 s.
- Muhar, S., Kainz, M., Schwarz, M., (1998): Ausweisung flußtypspezifisch erhaltener Fließgewässerabschnitte in Österreich – Fließgewässer mit einem Einzugsgebiet > 500 km<sup>2</sup> ohne Bundesflüsse. BMLF, BMUJF. Wasserwirtschaftskataster, Wien, p. 177

- Muhar, S., Schwarz, M., Schmutz, S., Jungwirth, M. (2000): Identification of rivers with high and good habitat quality: methodological approach and application in Austria, *Hydrobiologia* 422/423, pp 343-358
- Němec, J., Hladný, J. (eds.), (2006): Voda v České republice, Ministerstvo zemědělství, Praha, s. 256
- Newson, M.D., Large, A.R.G. (2006): „Natural“ rivers, „hydromorphological quality“ and river restoration: a challenging new agenda for applied fluvial geomorphology, *Earth Surf. Process. Landforms* 31, p. 1606-1624
- Nuttle, W.K. (2002): Is ecohydrology one idea or many?, *Hydrological Sciences Journal* 47, p. 805-807
- Opitz, D., Blundell, S. (2008): Object recognition and Image segmentation: the Feature Analyst approach, in Blaschke, T., Lang, S, Hay, G.J (eds): *Object-based Image Analyses, Spatial Concepts for Knowledge-driven Remote Sensing Application*, Springer, Berlin, p. 153-167.
- Parson, M., Thomas, M., Norris, R. (2002): Australian River Assessment System, Review of Physical River Assessment Methods – A Biological Perspective, Technical Report N. 21, Cooperative Research Center for Freshwater Ecology, Environment Australia, [online]: <http://ausrivas.canberra.edu.au/Geoassessment/Physchem/Man/Review.html>
- Raven, P.J., Fox, P.J.A., Everard, M., Holmes, N.T.H., Fawson, F.D. (1997): River Habitat Survey: a new system for classifying rivers according to their habitat quality. In: Boon PJ & DL Howell (Eds), *Freshwater Quality: Defining the Indefinable? The Stationery Office, Edinburgh*, p. 215-234
- Raven, P. J., Holmes, N.T.H, Charrier, P et all, (2002): Towards a harmonized approach for hydromorphological assessment of rivers in Europe: a qualitative comparison of free survey methods, *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.* 12: 405-424
- Russell, G.C. (1991): A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely sensed Data, *Remote Sens. Environ.* 37, pp.35-46
- Rosgen, D.L. (1994): A classification of natural rivers, *Catena* 22, p. 169-199
- Rosgen, D.L. (1996): *Applied River Morphology*. Wildland hydrology Books, Pagosa Springs, 390 s.
- Roy, N., Sinha, R. (2007): Understanding confluence dynamics in the alluvial Ganga-Ramganga valley, India: An integrated approach using geomorphology and hydrology, *Geomorphology* 92, pp. 182-197
- Ruda, A. (2007): Dálkový průzkum Země, výukový materiál, GJŠ, Přerov, [online]. <[www.gjs.cz/vedy-o-zemi/Ruda/RS-GPS.pdf](http://www.gjs.cz/vedy-o-zemi/Ruda/RS-GPS.pdf)>, [cit. 2010-05-05].
- Sarmiento, P., Carrao, H., Caetano, M. (2008): A fuzzy synthetic evaluation approach for land cover cartography accuracy assessment, The 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, Shanghai, pp.348-355

- Sitař, J. (2007): Modelování vlivu antropogenních úprav koryta jihočeské Blanice na průběh povodní, diplomová práce, Přf UK, Praha
- Sklenář, P. (2006): Upravené vodní toky – jejich návrh a provoz, výukový materiál, katedra hydrauliky a hydrologie, fakulta stavební, ČVUT, Praha, [online].  
<[http://toky.fsv.cvut.cz/Predmety/VTO/ke\\_stazeni/prednasky/VodniToky\\_NavrhAProvoz.pdf](http://toky.fsv.cvut.cz/Predmety/VTO/ke_stazeni/prednasky/VodniToky_NavrhAProvoz.pdf)>, [cit. 2011-03-27].
- Smetana, M. (2006): Ekomorfologické mapování potoka Lubě, bakalářská práce, Přf MU, Brno, 78 s.
- Smetana, M. (2008): Mapování koryto-nivních jednotek řeky Svratky v CHKO Žďárské vrchy, diplomová práce, Přf MU, Brno, 87s
- Spackman, S.C., Hughes, J.W. (1995): Assessment of minimum stream corridor width for biological conservation: species richness and distribution along mid-order streams in Vermont, USA, Biological Conservation, Vol. 71, pp. 325-332
- STAR Consortium (2003): The AQEM sampling method to be applied in STAR. [online]: [www.eu-star.at](http://www.eu-star.at)
- Storch, C. (2009): The Definiens Enterprise Image Intelligence Suite for operational landcover map production, eCognition User Summit, Munich
- Sviták, R., (2001): Detekce hran v obraze [online]. c 2001, [cit 2008-11-05].  
[http://herakles.zcu.cz/~rsvitak/school/zvi\\_rsvitak.pdf](http://herakles.zcu.cz/~rsvitak/school/zvi_rsvitak.pdf)
- Šilhánová, V. (2009): Ekomorfologický průzkum vodních toků v chráněných oblastech – aplikace na povodí Klíčavy. Diplomová práce, Přf UK, Praha
- Šindlar, M. (2008): Přírodě blízká protipovodňová opatření na tocích a v nivách, Šindlar s.r.o., 79 s.
- Šípek, V. (2006): Ekomorfologické hodnocení kvality habitatu vodních toků v povodí Liběchovky, diplomová práce, Přf UK, Praha, 113s
- Šípek, V., Matoušková, M., Dvořák, M. (2009) Comparative analysis of selected hydromorphological assessment methods. Environmental Monitoring and Assessment, 10.1007/s10661-009-1172-6.
- Tiner, R.W. (2004): Remotely-sensed indicators for monitoring the general condition of „natural habitat“ in watersheds: an application for Delaware's Nanticoke River watershed, Ecological Indicators 4, pp. 227-243
- Visual Learning Systém, (2009): Feature Analyst 4.2 for ArcGIS, Reference Manual, VLS Inc. Montana, 354 p.
- Vondra, F. (2006): Ekomorfologický monitoring v povodí horní Blanice, diplomová práce, Přf Uk, Praha, 102 s
- Wieß, A., Matoušková, M., Matschullat, J. (2008): Hydromorphological assessment within the EU – water framework directive – trans-boundary cooperation and application to different water basins, Hydrobiologia 603, p. 53-72

- Winterbottom, S.J., Gilvear, D.J. (1997): Quantification of channel bed topography within gravel bed rivers using aerial photography and multispectral imagery, *Earth Surface processes and Landforms*, 13, Vol. 3, p. 13
- Whited, D., Stanford, J.A., Kimball, J.S. (2002): Application of airborne multispectral digital imagery to quantify riverine habitats at different base flows, *River Res. Applic.* 18, p. 583-594
- Xiaoxia, S., Jixian, Z., Zhengjun, L. (2005): A comparison of object-oriented and pixel-based classification approaches using QUICBIRD Imagery, *Proceeding of XXXVI ISPRS meeting*, p.3
- Yu, Q., Gong, P., Clinton, N., Biging, G., Kelly, M., Schirokauer, D. (2006): Object-based Detailed Vegetation Classification with Airborne High Spatial Resolution Remote Sensing Imagery, *Photogrammetry Engineering and remote Sensing*, Vol 72., No 7, P. 799-811
- Zádorová, T., Chuman, T., Šefrna, L. (2008): Delimitace fluvizemí v prostoru hranice niva-svah v povodích menších vodních toků. In Langhammer, J. (ed.), *Údolní niva jako prostor ovlivňující průběh a následky povodní*. Praha, Přf UK, 187-193.
- Zalewski, M. (2000): Ecohydrology – the scientific background to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resources, *Ecological Engineering*, Vol. 16, p. 1-8
- Zalewski, M. (2002): Ecohydrology – the use of ecological and hydrological processes for sustainable management of water resources, *Hydrological Sciences* 47(5), p. 823-832
- Zumbroich, T., Müller, A., Friedrich, G. (1999): *Strukturgüte von Fließgewässern. Grundlagen und Kartierung*, Berlin, Germany, Springer, p. 283
- Železný, M. (2005): Dálkový průzkum Země, výukový materiál, katedra kybernetiky, Západočeská univerzita v Plzni, 83s. [online]: <http://artin.zcu.cz/dpz>

#### Internetové zdroje:

- ČHMÚ, Hottanová, E., Skalák, P: Mapa průměrného ročního úhrnu srážek v období 1961-1990, Mapa průměrné roční teploty vzduchu v období 1961-1990, [online]: [http://www.chmi.cz/portal/dt?portal\\_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P4\\_Historicka\\_data/P4\\_1\\_Pocasi/P4\\_1\\_3\\_Mapy\\_char\\_klim&last=false](http://www.chmi.cz/portal/dt?portal_lang=cs&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_3_Mapy_char_klim&last=false)
- VUGTK: Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí, [online]: <http://www.vugtk.cz/slovník>
- MKOL: [www.elise.bafg.de](http://www.elise.bafg.de)



## 16 Seznam tabulek

Tab. č. 1: Přehled vybraných charakteristik současných družic s VHR

Tab. č. 2: Bodové hranice pro výsledné zařazení úseků toků a systém jejich označení

Tab. č. 3: Parametr hodnocení upravenosti vodních toků

Tab. č. 4: Parametr hodnocení změny průběhu toku krajinou

Tab. č. 5: Hodnocení parametru zahloubení vodního toku

Tab. č. 6: Parametr hodnocení úprav podélného profilu

Tab. č. 7: Parametr hodnocení projevu eroze v korytě toku

Tab. č. 8: Parametr hodnocení přítomnosti přirozených tvarů v korytě

Tab. č. 9: Parametr hodnocení variability šířek vodních toků

Tab. č. 10: Parametr hodnocení charakteru vegetace břehů

Tab. č. 11: Parametr hodnocení existence DVP

Tab. č. 12: Parametr hodnocení charakteru DVP.

Tab. č. 13: Parametr hodnocení charakteru DVP

Tab. č. 14: Parametr hodnocení překážek proudění v záplavové zóně

Tab. č. 15: Parametr hodnocení možností retence

Tab. č. 16: Parametr hodnocení odvodnění území

Tab. č. 17: Parametr hodnocení ovlivnění odtoku

Tab. č. 18: Parametr hodnocení variability hloubek

Tab. č. 19: Bodové hodnoty všech porovnávaných přístupů popisující umístění a kvalitativní charakter jednotlivých shluků

Tab. č. 20: Porovnání zařazení úseku do shluku charakterizované v rámci tří hodnotících přístupů do přírodní/přírodě blízké (PB) třídy, nebo výrazně antropogenně ovlivněné (AO) třídy. V případě rozdílného zařazení byla uvedena pouze souhrnně jiná (J) třída bez jejích kvalitativních hodnot.

Tab. č. 21: Procentuální zastoupení kategorií klasifikace ve velikostních intervalech pro výsledný soubor (**A**) a referenční soubor (**B**) s počtem objektů stanovených pro náhodný výběr v jednotlivých intervalech.

Tab. č. 22. : Tabulka výsledných hodnot přesnosti pro jednotlivé kategorie klasifikace (všechny hodnoty v %)

Tab. č. 23: Hodnoty indexu Ief pro jednotlivé velikostní intervaly

Tab. č. 24: Výsledné hodnoty efektivity klasifikace

Tab. č. 25: Hodnocení přesnosti se započítáním alternativní kategorie, hodnoty v %

Tab. č. 26: Hodnoty průtoků a vodních stavů vztahující se ke sledovanému období a úseku toku

Tab. č. 27: Přítomnost tříd klasifikace v pětimetrovém okolí profilů hloubek a vymezení intervalů hloubek pro jednotlivé třídy

Tab. č. 28: vodní stavy vyšší než I.SPA pro jednotlivá sledovaná časová období

Tab. č. 29: Popis charakteru a změn jednotlivých úseků ve sledovaném období, délka úseku v metrech

Tab. č. 30: Popis jednotlivých typů toků pomocí sledovaných parametrů

Tab. č. 31: Hodnocení variability hloubek na základu zpracování satelitních snímků

Tab. č. 32: Bodové rozpětí hodnot pro jednotlivé ES

Tab. č. 33: Rozdělení parametrů z hlediska objektivní hodnocení

Tab. č. 34: Porovnání přesnosti klasifikace s jinými autory, \*autor použil Feature Analyst, PZ – přesnost zpracování, UP – uživatelská přesnost

Tab. č. 35: Použitá data a výsledky batymetrického mapování v různých modelových územích

## 17 Seznam obrázků

Obr. 1: Porovnání výsledků mapování toku Sarre pomocí metod RHS, LAWA-FS (zde LAWA vor Ort) a SEQ-MP, převzato dle Raven 2002

Obr. 2: Struktura a hierarchie hodnotících parametrů metody LAWA-OVS

Obr. 3: Struktura parametrů navržených při mapování toků v modelové území řek Tummel a Tay

Obr. 4. : Příklad zaostření multispektrálních dat panchromatickými daty, snímky z družice QuickBird, povodí Blanice

Obr. 5: Vržené stíny za budovami a skupinami stromů v povodí Rolavy (1) a zrcadlí se plochy vodní hladiny toku Berounky (2)

Obr. 6: Ukázka základních map 1:10 000 se zákresem odvodněných ploch a upravených úseků na toku Staré Klejnárky při ústí do Klejnárky. V mapě jsou zapsány číselné kódy s odkazem na textové materiály správce toku.

Obr. 7: Příklad přirozeného zkrácení toku Lužnice poblíž obce Dvory nad Lužnicí na mapách bývalého pozemkového katastru, historické letecké mapě (snímek z roku 1952) a současném leteckém snímku

Obr. 8: Zkrácení toku Blanice v blízkosti obce Myšenec. Porovnání map II: VM (1) se současným stavem (2) na leteckém snímku. Kromě výrazného zkrácení vodního toku je v horní části snímku (na leteckém snímku na louce) stále zřetelná část bývalého meandru Blanice (na mapách II. VM již zakreslen jako opuštěné rameno bez kontaktu na vodní tok).

Obr. 9: Příklad změny trasy toku Blanice nad obcí Putim. Původní charakter zachycený na mapách II. VM (1) a současný stav na leteckém snímku (2)

Obr. 10: Příklady zákresu zářezu podél toku Blanice u obce Blanice zakreslené na Topografické mapě AČR 1:25 000 (1, 3) a na mapách II. VM (2,4)

Obr.č. 11: Tvary vázané na antropogenní objekty v korytě toku, obrázky 2 a 3 mají odlišné měřítko od obrázku 1. Blanice u obce Putim (1) a Kratušín (2) a (3). Letecké snímky byly pořízeny v roce 2008, satelitní snímek z družice QuickBird byl nasnímán 15.7.2007

Obr. č. 12: Projevy stupňů v korytě je možné na leteckém snímku detekovat na základě zčeření a zrcadlení hladiny. Rolava v blízkosti obce Chaloupky

Obr. č. 13: Ověření detekce přirozených stupňů v korytě pomocí šikmého pohledu na tok z aplikace Google Earth. Vlevo tok Rolavy u obce Chaloupky, červeně označen umělý stupeň v korytě, který není evidován v databázi DiBaVod, vpravo tok Blanice před ústím do v.n. Husinec

Obr. č. 14: Porovnání interpretačního potenciálu leteckých a satelitních snímků.

Obr. č. 15: Příklady projevu eroze a akumulace v korytě toku a porovnání interpretačního potenciálu leteckých (1) a satelitních (2) snímků z hlediska jejich detekce. Tok Blanice v blízkosti obce Záblatí

Obr. č. 16: Zobrazení bufferu minimální šíře a břehové čáry do obrazových dat (leteckých snímků), Berounka u obce Nezabudice

Obr. č. 17: Rozdíl mezi břehovou vegetací upravených toků a přirozeným charakterem vegetace, tok Blanice u obce Myšenec.

Obr. č. 18: Využití území podél toku Roggia Mussa v blízkosti obce Tricerro, Itálie (1) a detail koryta toku bez břehové vegetace (2)

Obr. č. 19: Podélný val v nivě nad obcí Strunkovice nad Blanicí zobrazený na Topografické mapě 1:25 000 (vlevo). Val, na kterém je umístěna železnice, omezuje tok Blanice v jeho přirozeném rozlivu. Hranice rozlivu pro stoletou vodu ve sledovaném úseku přesně kopíruje železniční val (vpravo).

Obr. č. 20: Příklad úseků toku Nidy (1) v blízkosti obce Morawica, Polsko a toku Krapina (2) v blízkosti Záhřebu, Chorvatsko s možností přirozené retence vody

Obr. č. 21: Staré meandry Vltavy na území dnešní v.n. Lipno, možné projevy původní říční sítě v okolí obce Dalmand, Maďarsko

Obr. č. 22: Projevy zavlažování, příklady z okolí Znojma, obec Křídlovky (1) a okolí města Albacete (2), Španělsko

Obr.č. 23: Stabilizace zákrut koryta, tok v blízkosti obce Vinterovec, Chorvatsko

Obr. č. 24: Úsek toku řeky Ili, Kazachstán

Obr. č. 25: Úseky toku na snímků z družice QuickBird se střídáním hlubších a mělkých úseků (1) se zobrazením výsledků neřízené klasifikace (2) a úsek toku s jednotnou identifikovanou hloubkou v příčném i podélném profilu (3) se zobrazením výsledků neřízené klasifikace (4).

Obr. č. 26: Vizuální porovnání interpretačního potenciálu různých zdrojů obrazových dat

Obr. č. 27: Lokalizace povodí Rolavy (1), mapa krajinného krytu CORINE pro rok 2006 (2) a lokalizace významných krajinných prvků (3)

Obr. č. 28: Výsledky distančního hodnocení hlavního toku Rolavy s lokalizací jednotlivých úseků

Obr. č. 29: Srovnávací analýza celkového hydromorfomorfologického stavu pomocí metod terénního průzkumu EcoRivHab a distančního vyhodnocení pomocí QuaWaDis

Obr. č. 30: Přesnost kalibrace distanční metody posuzovaná na základě srovnávací analýzy s výsledky terénního mapování, celkové hydromorfologické hodnocení

Obr. č. 31: Přesnost kalibrace distanční metody posuzovaná na základě srovnávací analýzy s výsledky terénního mapování, hodnocení zóny koryta vodního toku

Obr. č. 32: Srovnávací analýza výsledků terénního a distančního hodnocení výsledného hydromorfologického stavu s vyznačením oblasti kandidátních hodnot, ověření vypovídací schopnosti distančních dat

Obr. č. 33: Srovnávací analýza výsledků terénního a distančního hodnocení v zóně koryta vodního toku s vyznačením oblasti kandidátních hodnot, ověření vypovídací schopnosti distančních dat

Obr. č. 34: Heterogenita v rámci jedné kategorie krajinného krytu

Obr. č. 35: Postup objektové klasifikace pomocí extenze Feature Analyst – zadání trénovacích ploch (1), primární výsledek klasifikace (2) a jeho podoba po odstranění šumu pomocí rozpoznávání objektů (3).

Obr. č. 36: Soubor kroků vedoucích k vytvoření jedné informační třídy

Obr. č. 37: příklad citlivosti objektových klasifikací, data z povodí Blanice

Obr. č. 38: Ukázka výsledků objektové klasifikace v porovnání se vstupními daty

Obr. 39: Rozdělení objektů reálného světa do více vektorových objektů (1) a homogenní objekty vytvořené neřízenou segmentací (2)

Obr. č. 40:: Rozložení četnosti velikostí jednotlivých objektů výsledného souboru v polologaritmickém grafu s vyznačením hranic velikostních kategorií.

Obr. č. 41: Lokalizace modelového území Vltavy v přehledové mapě (2), využití území podél toku (1) a vymezení chráněných území a ÚSES (3)

Obr. č. 42: Grafické zobrazení přesnosti georeferencování satelitních snímků, jako satelitní snímek byl použit výřez obrazu 541.

Obr. č. 43: Neřízená klasifikace obrazu 541 ve vybraných lokalitách s různým počtem klasifikačních tříd

Obr. č. 44: Příklad tří lokalit a grafického porovnání správnosti klasifikace

Obr. č. 45: Vizuální porovnání detekce struktur v korytě dna, lokalita bez měření hloubek

Obr. č. 46: stopy po odvodňování a těžbě rašeliny

Obr. č 47: Vymezení jednotlivých charakterově homogenních úseků

Obr. č. 48: Vývoj průběhu trasy toku ve vybraných úsecích

Obr. č 49: Lokalizace území Blanice

Obr. č. 50: Ilustrativní fotografie upravených úseků, tok Blanice, typ A

Obr. č. 51: Ilustrativní fotografie krátkých upravených úseků, tok Blanice, typ B

Obr. č. 52: Ilustrativní fotografie upraveného úseku toku s břehovou vegetací bez významného antropogenního ovlivnění, tok Blanice, typ C

Obr. č. 53: Ilustrativní fotografie neupraveného úseku toku s břehovou vegetací bez významného antropogenního ovlivnění, tok Blanice, typ D

Obr. č. 54: Grafické porovnání lokalizace typů úseků na základě výsledků terénního a distančního mapování

Obr. č. 55: Chybějící zakres terénního zářezu je možné doplnit na základě vizuální interpretace leteckých snímků, tok Blanice pod obcí Vodňany

Obr. č. 56: Grafické porovnání výsledků mapování upravenosti koryta toku na základě distančního mapování, terénního mapování a hodnocení dle Langhammera (2004).

Obr. č. 57: Reprezentativní oblasti pro nastavení hranic pro hodnocení variability hloubek

Obr. č. 58: Obrazová dokumentace vývoje akumulčních tvarů ve sledovaném období, zobrazeny dvě reprezentativní lokality v rámci celku I.

Obr. č. 59: Denní průtoky na profilu Blanický mlýn v období 1.8.2004 – 31.10.2011 s vyznačenými hodnotami pro  $Q_r$  a  $Q_1$  a obdobími snímání.

Obr. č. 60: Grafické porovnání vývoje akumulčních tvarů během sledovaného období v rámci celku II., reprezentativní oblasti

Obr. č. 61. : Denní průtoky na profilu Podedvory ve sledovaném období, vyznačeny jednotlivé časové horizonty,  $Q_r$ ,  $Q_1$ ,  $Q_5$ , a  $Q_{10}$

Obr. č. 62: Grafické porovnání vývoje akumulčních tvarů během sledovaného období v rámci celku IV., reprezentativní oblasti

Obr. č. 63: Grafické zobrazení výsledků distančního hodnocení hydromorfologického stavu toku Blanice

## 18 Přílohy

Příloha 1: Příklad převodu výsledků terénního mapování na princip distančního hodnocení (QuaWaDis-EcoRivHab)

Příloha 2: Bodové výsledky distančního hodnocení Blanice